



ИНЖЕНЕРНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ БИБЛИОТЕКА.

МАРЕК Е., инж.

# ОБМОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

## ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.






ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО.

Москва — 1929 г.

**Баркгаузен, Г.,** проф. Катодные лампы. Перевод с нем. под ред. проф. М. М. Глаголева. М. 1925 г. Изд. 2-е. 72 стр. 55 рис. Ц. 75 к.

**Барт, К.,** инж. Самообучение по технике. Т. I. Прикладные науки. Пер. с нем. под ред. проф. М. Н. Берлова. М. 1929 г. 368 стр. 912 рис. Ц. 4 р. 50 к., в папке 4 р. 95 к. в коленк. перепл. 5 р. 25 к.

**Его же.** Самообучение по технике. Т. III. Машиностроение и электротехника. Под ред. проф. М. Н. Берлова. М. 1928 г. 344 стр. 304 рис. Ц. 4 р. 50 к., в папке 5 р.

**Беркман, А. С.,** инж.-электр. и **Дрейзен, И. Г.,** инж.-электр. Радиолаборатория в школе, в кружке и на дому. Основные измерения и испытания. Практическое руководство к самостоятельным лабораторным занятиям по радиотехнике. Пособие для руковод. лабораторн. занятий и радиоинструкторов. С предисл. проф. М. В. Шулейкина. Инспекцией войск связи РККА рекомендовано, как методическое пособие для радиочастей и нормальных школ связи РККА. М. 1928 г. 204 стр. 252 рис. и 16 табл. Ц. 2 р. 75 к., в папке 3 р. 15 к.

**Берлов, М. Н.,** проф. Детали машин. Вып. II. Клепка балок и колонн. М. 1922 г. Изд. 4-е. 69 стр. 71 рис. Ц. 2 р. 50 к. Атлас на 15 табл. Ц. 1 р.

**Его же.** Детали машин. Вып. III. Клепка и сварка резервуаров и котлов. Руководство по расчету и проектированию деталей машин. Для студентов ВТУЗ'ов, слушателей техникумов, техников, механиков и инженеров. Расчеты с пояснительными примерами и 20 таблиц. конструкт. чертежей. исполн. в красках и отдельн. атласе. М. 1925 г. Изд. 3-е, просм. и дополн. 80 стр. 83 рис. Ц. с атласом 3 р. 65 к., в папке 4 р. 05 к.

**Его же.** Детали машин. Вып. IX. Подъемники. Руководство по расчету и проектированию деталей машин. Для студентов, техников, механиков и инженеров. Расчеты с пояснительными примерами, многочисл. фигурами и таблицами конструктивных чертежей в отдельном атласе на 24 табл. М. 1929 г. Изд. 2-е. 208 стр. Ц. с атласом 6 р. 50 к.

**Его же.** Детали машин. Сокращенное руководство по расчету и проектированию. Для технич. учебн. завед., техников и механиков. Расчеты с пояснительными примерами, с 283 рис. и 30 таблицами конструкт. чертежей в красках, в отдельном атласе. Ч. I. Текст. Ч. II. Атлас. М. 1929 г. Изд. 3-е. 352 стр. Ц. с атласом 5 р. 50 к.

**Вершадский Л. Я.,** инж. Техника ремонтно-монтажного дела. Руководство по установке, сборке, уходу и ремонту заводских тепловых двигателей. М. 1929 г. Изд. 2-е с дополн., в обработке и под редакц. инж. Б. В. Кузнецова. Т. I. 586 стр. 692 рис. Ц. 5 р. 75 к.

**Бутильон Л.,** инж. Практический курс электротехники. Т. I. Основные законы электричества. Пер. с франц. под ред. проф. А. К. Тимирязева. М. 1929 г. 252 стр. 186 рис. Ц. 1 р. 80 к.

**Ветцель, И.,** инж. Разработка проекта по электрическому освещению. Перев. с франц. инж. С. Г. Розенбаума. М. 1929 г. Изд. 2-е. 40 стр. 38 рис. Ц. 60 к.

**Видмар, М.,** д-р техн. Экономические законы проектирования электрических машин. Под ред. проф. Я. Н. Шпильрейна. М. 1924 г. 110 стр. 7 рис. Ц. 1 р. 40 к.

**Германн, И.,** проф. Электротехника. I. Физические основы. Пер. с нем. под редакц. проф. В. А. Александрова. М. 1928 г. 216 стр. 103 рис. Ц. 55 к.

**Его же.** Электротехника. II. Техника постоянного тока. Пер. с нем. под редакц. проф. В. А. Александрова. М. 1928 г. 196 стр. 121 рис. Ц. 55 к.

**Его же.** Электротехника. III. Техника переменного тока. Пер. с нем. под редакц. проф. В. А. Александрова. М. 1928 г. 224 стр. 173 рис. Ц. 55 к.

**Его же.** Электротехника. IV. Получение и распределение электрической энергии. Пер. с нем. под ред. проф. В. А. Александрова. М. 1928 г. 216 стр. 116 рис. Ц. 55 к.

**Его же.** Электрические измерительные приборы. Краткое описание наиболее употребительных в электротехнике измерительных приборов. Пер. с нем. под ред. проф. В. А. Александрова. М. 1928 г. 224 стр. 110 рис. Ц. 55 к.

**Гирш-Вилкинг.** Справочник по электротехнике. Для инженеров, техников и учащихся высших и средних технических учебных заведений. Пер. с нем. под ред. проф. В. А. Александрова. М. 1927 г. 232 стр. 56 рис. Ц. 2 р. 90 к. в папке.

**Грун, К.,** инж. Электрические измерительные приборы. Перев. с немецк. инж.-электр. И. Б. Мандельштама. М. 1927 г. 172 стр. 341 рис. Ц. 2 р. 10 к.

**Грюневальд,** д-р инж. Экономический расчет гидравлических силовых установок. М. 1929 г. 76 стр. 27 рис. Ц. 1 р. 10 к.

**Дрейер, Л. В.,** проф. Электрическое освещение фабрично-заводских зданий. М. 1922 г. 39 стр. 22 рис. Ц. 20 к.

**Дуббель, Г.,** проф. Справочник по математике для инженеров, техников, студентов и преподавателей математики. Пер. с нем. Н. П. Тарасова под ред. и в перераб. проф. Н. Н. Лузина. М. 1927 г. 280 стр. 213 рис. Ц. 2 р. 85 к., в переплете 3 р. 20 к.

**Его же.** Справочная книга по машиностроению. Пер. с 3-го и 4-го нем. изд. под общей ред. Моск. Механ. Института им. М. В. Ломоносова. Том I. М. 1929 г. 1032 стр. 1206 рис. Ц. в папке 10 р. 50 к., в перепл. 10 р. 70 к.

**Жане, П.,** проф. Общий курс электротехники. Том I. Общие основы. Прямой ток. Пер. с франц. под ред. проф. Я. Н. Шпильрейна. М. 1928 г. 204 стр. 183 рис. Ц. 3 р. 40 к. в папке 3 р. 80 к.

**Его же.** Общий курс электротехники. Том II. Переменный ток. Пер. с франц. под ред. проф. Я. Н. Шпильрейна. М. 1929 г. 260 стр. 202 рис. Ц. 3 р. 60 к., в папке 4 р. 05 к. в коленк. перепл. 4 р. 35 к.

*Пролетарии всех стран, соединяйтесь!*

Б. Серия 4. Инженерно-Промышленная Библиотека. № II—14.

МАРЕК Е., инж.
(MAREC E.)



# ОБМОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

## ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

(Les enroulements industriels des machines a courant coltines et a courants alternatifs).

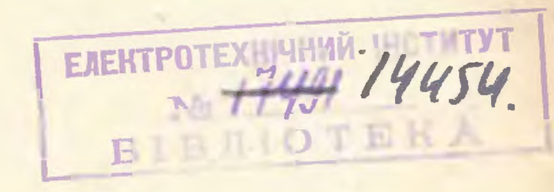
Перевод с франц. инж Т. Л. ГИНЗБУРГА.

Под редакцией и в обработке
проф. В. А. АЛЕКСАНДРОВА.

с 244 фиг. в тексте.

ВТОРОЕ ИЗДАНИЕ.









ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО.
Москва — 1929 г.




Главлит № А-36596. Зак. № 26. Тираж 5100 экз. $6^{1}/_{4}$ п. л.

# ПРЕДИСЛОВИЕ.

Труд, который предлагается вниманию читателя, отвечает назревшей потребности. Значение этого руководства станет очевидным, если дать себе отчет об условиях работы в современной промышленности. Раньше, молодой инженер, пройдя курс высшей школы, должен был долго обучаться в производстве, в котором он предполагал работать, пока он не ознакомится с так называемыми «секретами производства». Секретов производства в настоящее время нет, что можно усмотреть хотя бы из того, что все крупные фирмы охотно предоставили в распоряжение автора настоящей книги все сведения, касающиеся производственных процессов. От начинающего инженера требуют, чтобы по окончании школы он обладал серьезными практическими сведениями, чтобы по возможности сокращен был срок его подготовки, и чтобы он немедленно был привлечен к той работе, которая от него требуется.

В виду таких требований, в школах обычно уделяется большое внимание построению электрических машин, которое базируется на опытных заводских данных.

Руководство этими занятиями и притом наиболее трудными и наиболее важными из них (я разумею обмотки машин) поручено было автору настоящей книги, бывшему начальником работ Высшей Технической Школы Франции, который в течение нескольких лет собрал большое количество материала по этому вопросу. Данными своего опыта автор и делится в настоящем труде. Изложение основных прицепов, на которых базируются практически выполняемые обмотки, получает в виду вышеуказанного чрезвычайно ясный и простой характер.

В виду вышесказанного, мы полагаем, что это руководство может оказаться полезным большому кругу лиц: в первую очередь студентам электротехнических школ, предоставляя в их распоряжение большое количество сведений, которые обычно трудно получить; далее — инженерам, техникам и монтерам, практически имеющим дело с обмоткою и перемоткою электрических машин, и, наконец, всем тем из специалистов, которые желают пополнить свои сведения в области динамо-машин и моторов. Надеюсь, что книга встретит прием, который она заслуживает, и мы полагаем, что успех этой книги будет вполне соответствовать пользе, которую она принесет.

Директор Высшей Электротехнической
Школы в Париже.

*П. Жане.*

# ПЕРВАЯ ЧАСТЬ.

# Постоянный ток.

## I. ТЕОРИЯ.

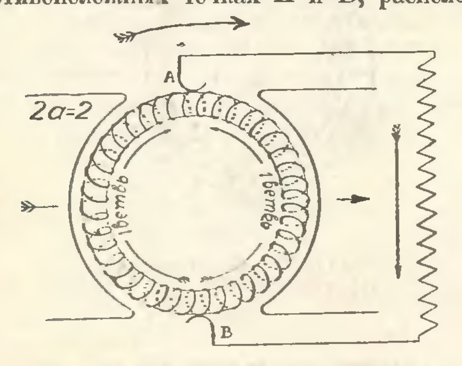
### ГЛАВА I.

### Общие соображения.

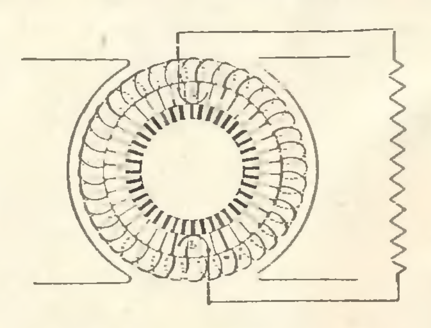
Настоящее руководство предполагает знакомство читателя с основами электротехники и, в частности, с элементарными принципами работы двухполюсного кольца Грамма. Якорь машины, в виде кольца Грамма, применяется в настоящее время крайне редко в виде исключения, и потому мы ограничимся рассмотрением якорных обмоток зубчатых барабанных якорей, которые и применяются в настоящее время на практике.

Кольцевая обмотка, хотя и имеет весьма малое практическое значение, однако, в виду своей простоты является значительно более удобной для изучения по сравнению со сложными барабанными обмотками. Так как, с другой стороны, несмотря на кажущуюся сложность барабанной обмотки, способ получения постоянной электродвигательной силы одинаков в барабанной и кольцевой обмотках, мы сперва установим способ получения постоянной электродвигательной силы в кольцевой обмотке. На основании этого мы выведем основные условия, необходимые для работы барабанного якоря, и мы изучим, как эти условия осуществляются на практике.

**Двухполюсный кольцевой якорь.** Рассмотрим двухполюсный кольцевой якорь (фиг. 1). Как известно, для получения постоянной разности потенциалов между щетками нужно, чтобы щетки скользили по обмотке, соприкасаясь в ней в двух противоположных точках *A* и *B*, расположенных по нейтральной линии.




Фиг. 1. Двухполюсное кольцо Грамма без коллектора.



Фиг. 2. Кольцо Грамма с коллектором.

Из конструктивных соображений, в особенности из соображений прочности, щетки скользят по добавочной части машины, называемой коллектором.

Коллектор состоит из медных пластин, изолированных друг от друга и соединенных с обмоткой проводниками (фиг. 2).

Для правильной работы двухполюсная кольцевая машина должна удовлетворять нижеследующим условиям:

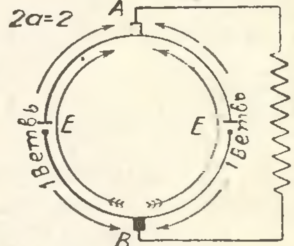
а) Обмотка должна быть безусловно симметричная.

б) » » составлять вполне замкнутую цепь.

в) Вышеуказанная цепь должна во всякий момент состоять из двух частей, дающих одинаковые и противоположные по направлению электродвигательные силы, считая от щеток противоположных полюсов.

г) Электродвигательная сила в проводниках каждой из частей кольца одинакова по направлению.

Этим же условиям должен удовлетворять и якорь барабанного типа.




Фиг. 3. Схема, эквивалентная обмотке двухполюсной машины.

**Цепь обмотки.** Определение. Цепью обмотки или просто цепью называют часть обмотки, которую надо пройти от одной щетки до прихода в другую щетку.

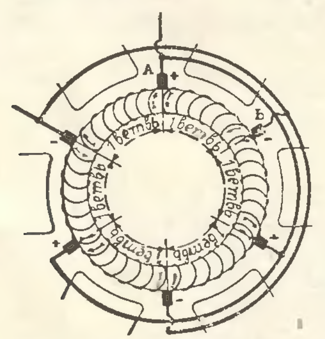
Другими словами, число цепей соответствует числу ответвлений якоря, токи которых складываются, чтобы дать общий ток, идущий во внешнюю цепь.

Число ветвей в якоре всегда четное (условие $B$). При двухполюсной машине — $2a = 2$.

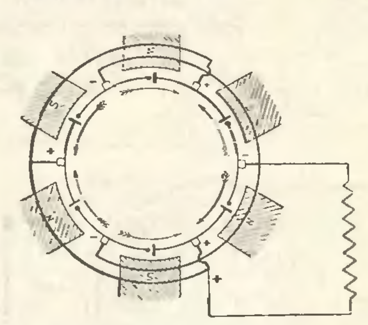
**Многополюсный якорь.** Обмотка многополюсной машины, как бы сложна ни была ее схема, должна удовлетворять вышеперечисленным условиям и, в частности, условию в), но в этом случае обе части якоря вместо одного направления имеют каждая по несколько направлений, число которых может быть четным или нечетным.

Чтобы избежать циркуляции тока между обмотками, «цепи обмоток» должны давать одинаковые по величине электродвигательные силы, т.-е. иметь одинаковое число активных витков.

**Секции.** В предшествующих схемах кольцевой обмотки мы соединяли каждый виток обмотки якоря с коллекторной пластиной. Возникает вопрос, всегда ли нужно таким образом соединять коллектор и нельзя ли обойтись, соединяя с коллектором не каждый виток, а делать соединения с коллектором через каждые $n$ витков?




Фиг. 4. Ветви обмотки 6-полюсного кольца Грамма.



Фиг. 5. Схема, эквивалентная 6-полюсной обмотке кольца Грамма.

Другими словами, не может ли число пластин коллектора $K$ быть некоторой частью числа витков.

Чтобы уяснить себе этот вопрос, будем уменьшать число пластин коллектора и посмотрим, что это нам дает?

1. Постоянство разности потенциалов между щетками будет уменьшаться. Нижеприведенная таблица дает отклонения от средней разности потенциалов, принятой за 100, при различном числе пластин на полюс.

| Число коллекторных пластин на пару полюсов. | Отклонения. |
|---|---|
| 2 | 50,00 |
| 4 | 14,04 |
| 10 | 2,38 |
| 15 | 1,70 |
| 20 | 0,61 |
| 30 | 0,28 |
| 50 | 0,14 |
| 60 | 0,07 |
| 90 | 0,03 |

При 50 пластинах на пару полюсов, таким образом, напряжение уже постоянно с точностью до 0,1%.

2. Самоиндукция части обмотки, коротко замыкаемой щеткой, увеличивается. Это увеличение происходит от того, что вместо короткого замыкания одного витка коротко замыкаются несколько витков, соединенных последовательно. Увеличение самоиндукции ухудшает условия коммутации, и из этих соображений было бы желательно, чтобы только один виток был бы включен между двумя коллекторными пластинами.

3. Напряжение между двумя смежными коллекторными пластинами увеличивается. Можно принять, что максимум напряжения, которое может быть допущено между смежными пластинами, не должно превосходить 25 вольт.

Из соображений уменьшения напряжения между пластинами работа машины будет лучше, если к коллектору будет присоединяться каждый виток.

Но, с другой стороны, с уменьшением числа коллекторных пластин уменьшается и стоимость машины. Кроме того толщина каждой коллекторной пластины не должна быть меньше 3 *мм*, что при большом количестве пластин чрезмерно увеличить размеры коллектора.

На практике, обычно, число пластин коллектора меньше числа витков на якоре.

Таким образом, $K = s$ или $K < s$.

В последнем случае и число пластин $K$ должно составлять определенную часть числа витков $K = \frac{s}{n}$, где $n$ число целое.

Мы, таким образом, встречаемся с понятием секции, имеющим весьма важное значение для изучения обмоток, и понятие — секция, должно быть ясно усвоено.

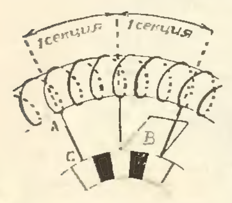
Секцией называется совокупность витков, через которые надо пройти, если итти по обмотке от одной коллекторной пластины к следующей.

Щетка $B$, когда она ляжет на коллекторные пластины, коротко замыкает одну секцию (фиг. 6).

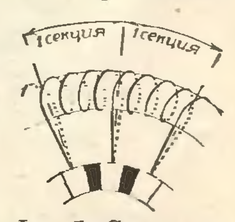
Общее число секций обмотки обозначается буквой $S$, и согласно вышеприведенному определению $K = S$.

Секция может состоять из одного витка, тогда—$K = s$, или из нескольких витков и тогда—$K = \frac{s}{n}$.

**Практическая форма секции при кольцевой обмотке.** Приведенные ранее различные схемы кольцевой обмотки представляли непрерывную обмотку, которая при помощи соединений типа $AC$, припаянных в точках $A$ и $C$, соединялась с коллектором. На практике схема лучше осуществляется способом, указанным на фиг. 7, т.-е. обмотка производится отдельными секциями. Непрерывность обмотки производится припаиванием концов секций к коллектору. При ремонте достаточно заменить попорченную секцию.




Фиг. 6. Соединение секций (теоретическое).




Фиг. 7. Соединение секций (практическое).

Обмотка, таким образом, имеет столько соединений, сколько имеется секций.

Обмотка на практике приводится к изготовлению секций, что и определяет важное практическое значение секции.

## ГЛАВА II.

## Якорь барабанного типа.

**Условия, которым должен удовлетворять якорь.** Перечислим вновь условия, которые, как мы уже указали, должны быть выполнены во всех случаях, когда желательно иметь постоянную электродвигательную силу при применении замкнутой обмотки и коллектора:

а) Обмотка должна быть симметрична.

б) » » представлять замкнутую цепь.

в) Эта цепь должна составляться из $2a$ ветвей, дающих равные и противоположные электродвигательные силы.

Если предположить, что вышеуказанные условия выполнены, вопрос обмоток может быть рассмотрен из двух точек зрения, а именно: со стороны электрической и механической.

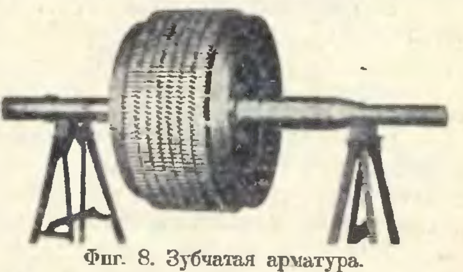
Со стороны электрической — обмотка должна соответствовать расчетным данным.

Со стороны механической:

а) максимально должна быть использована применяемая медь,

б) обмотка и соединения между обмотками должны уложиться на якоре, обмотка якоря должна производиться скоро, быть прочной и иметь красивый внешний вид.

Все вышеуказанные требования должны быть приняты во внимание при выполнении обмотки.



Фиг. 8. Зубчатая арматура.

**Зубчатая арматура.** Чтобы не подвергать, с одной стороны, проводники электромагнитному действию, а также, чтобы уменьшить междужелезное пространство и сделать обмотку механически прочной, проводники обмотки кладутся в пазы, разъединенные друг от друга зубцами, откуда и название зубчатая арматура (фиг. 8).

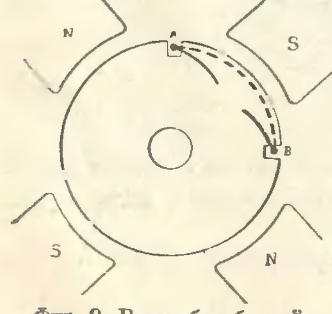
Из соображений симметрии механической и электрической (условие «а») в каждом из пазов находится равное число проводников.

Мы можем, таким образом, приняв за $N$ — общее число проводников, $R$ — число пазов, $c$ — коэффициент (целое число), — написать уравнение $N = cR$.

## ГЛАВА III.

## Обмотка в целом должна быть симметрична.

**Виток. Секция. Катушка.** Электродвигательная сила, которую дает динамомашина, есть электродвигательная сила индукции. Она образуется от перемещения витков зубчатого якоря, образованных каждый двумя проводниками и соединениями между ними, попеременно между полюсами северным и южным двух — или многополюсного индуктора.




Фиг. 9. Виток барабанной обмотки.

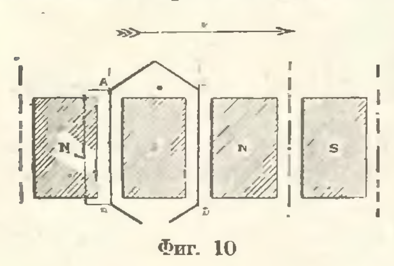
Абсолютное значение электродвигательной силы в момент $t$ определяется по формуле $e = \frac{d\Phi}{dt}$, где $\Phi$ магнитный поток, пересекаемый витком в данный момент. Индуцируемая электродвигательная сила в каждом витке есть величина переменная.

Вместо того, чтобы рассматривать индукцию витка, можно представить себе, что проводники $AB$ и $CD$ витка пересекают линии сил, и что в каждом из них

индуцируется электродвигательная сила, значение которой в каждый момент (фиг. 10)

$$e = Hlv, \text{ где:}$$

*H*—напряжение магнитного поля, пересекаемого проводниками в данный момент, *l*—длина проводника, *v*—скорость перемещения проводника в данный момент [1]).


Фиг. 10

В некоторых случаях рассуждения проще, если рассматривать виток, в других—проводники; в этом руководстве, в дальнейшем рассматриваются, в зависимости от случая, проводник или виток.

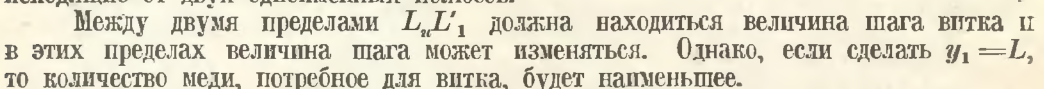
Примечание; Проводник состоит или из одного провода, или из параллельно расположенного ряда проводников.

**Наилучшее использование меди витка.** Для наилучшего использования меди нужно, чтобы электродвигательная сила, индуцируемая в одном проводе, ни в коем случае не ослаблялась электродвигательной силой в другом проводнике. Это условие будет соблюдено, если оба провода одного витка не будут приходиться против одноименных полюсов.

Назовем ширину витка (фиг. 11) $y_1$ шагом, тогда имеем

$$L \leq y_1 < L^1,$$

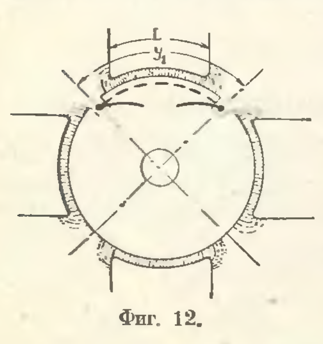
откуда получаем чрезвычайно важное правило.


Фиг. 11.

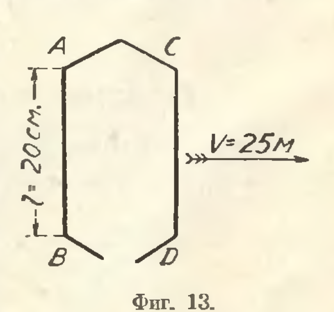
**Правило.** Виток должен охватывать весь магнитный поток, исходящий от полюса, и не должен никогда захватывать магнитные потоки, исходящие от двух одноименных полюсов.

Между двумя пределами $L, L'_1$ должна находиться величина шага витка и в этих пределах величина шага может изменяться. Однако, если сделать $y_1 = L$, то количество меди, потребное для витка, будет наименьшее.

Это укорочение шага не дает заметных преимуществ с электрической точки зрения (см. специальные труды по коммутации). Принимая же во внимание магнитное рассеяние, действительная активная ширина полюса увеличивается, в виду чего рекомендуется давать $y_1$ величину близкую междуполюсному шагу или осевому расстоянию между двумя соседними полюсами (фиг. 12).


Фиг. 12.

**Максимальная электродвигательная сила витка.** Индуцируемая в витке электродвигательная сила является величиной переменной. Если взять размеры якоря, соответствующие данным практики, и если принять величину индукции и скорость вращения якоря также соответственно данным практики, то максимальное значение индуцированной электродвигательной силы будет весьма мало.



Фиг. 13.

Пусть, например, имеем виток, состоящий из двух проводников длиной *l*.

[1]) Само собою разумеется, что перемещение принято нормальное к проводнику.

Для каждого проводника $e' = Hlv$. Если примем данные по фиг. 13: $H$—максимум 5000 гаусс: $l$—максимум 20 *см*; $v$—максимум 25 *м/сск*, то мы будем иметь $e'_{max} = \frac{5000 \cdot 20 \cdot 2500}{10^8} = 2{,}5$ вольт.

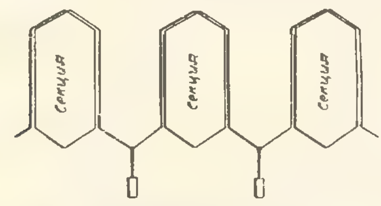
Электродвигательная сила витка составит $e_{max} = 2\ e'_{max} = 5$ вольт.

Чтобы получить максимум 120 вольт, нужно соединить последовательно $\frac{120}{5}$, т.-е. 24 витка или 48 проводников, в которых одновременно индуцируется максимальная электродвигательная сила.

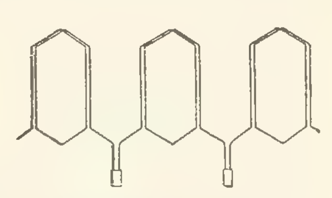
При двухполюсной машине 48 проводников составят $^1/_2$ всей обмотки и для полной обмотки якоря потребуется 96 проводников.

**Секция.** Не касаясь особых свойств барабанного якоря, отметим, что число коллекторных пластин, как известно, или равно числу витков, или равно числу витков, деленному на целое число.

Если $K = s$, конец каждого витка присоединяется к коллекторной пластине и секция включает только один виток, если же $K = \frac{s}{n}$, то, чтобы притти от одной коллекторной пластины к другой, нужно пройти $n$ витков. Каждые $n$ витков образуют секцию. В этом случае, как и в кольце Грамма, вместо того, чтобы делать спайки от обмотки к коллектору, как указано на фиг. 14, на практике выполнение




Фиг. 14. Соединения между секциями (теоретическое).



Фиг. 15. Соединения между секциями (практическое).

обмотки значительно облегчится, если обмотка будет разделенная и конец каждой секции будет подводиться к коллекторной пластине. Обмотка в этом случае приводится к укладке секции: непрерывность же обмотки достигается припайкой свободных концов отдельных секций к пластинам коллектора (фиг. 15).

Из вышесказанного можно сделать следующий вывод: секция представляет на практике элемент обмотки.

Остается выяснить, какую форму должна иметь секция, чтобы:

1) вся обмотка могла бы быть получена при помощи типовой секции,

2) чтобы секция могла легко и быстро выполняться.

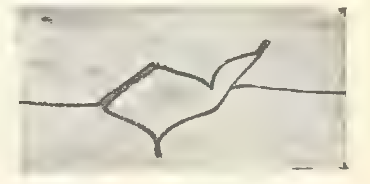
Осуществлением этих двух условий конструктивная задача полностью разрешается.

Фиг. 16. Броневая секция.

На практике пришли к двум типовым формам обмоточных секций, представленных на фиг. 16 и 17.

Секция, согласно фиг. 16, называется бочковидной или броневой.

Секция, согласно фиг. 17, по развертке—лобовой.



Фиг. 17. Лобовая секция или секция по развертке.

В первом типе наружные соединения всей обмотки производятся по двум концентрическим поверхностям по отношению к оси машины (фиг. 18), при втором

типе обмоток соединения расположены в двух плоскостях, перпендикулярных к оси (фиг. 19).

Рассматривая последние две фигуры, можно заметить, что оба вышеуказанных



Фиг. 18. Якорь с броневыми секциями.



Фиг. 19. Якорь с секциями по развертке.

типа предполагают, что одна сторона секции расположена в верхней, другая—в нижней части паза, занятого секцией.

Такое расположение обусловливает определенные соотношения, которые мы и выведем после того, как мы установим, что подразумевается под определением «якорного пучка».

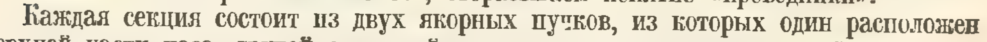
Фиг. 20.

**Якорный пучек.** Якорным пучком называется комплект проводов секции, расположенных в одном пазу (фиг. 20).

Можно применить и такое определение: якорный пучок состоит из проводов секции, занимающих одинаковое положение в магнитном поле.

Число же проводов а, следовательно, и число витков секции нас интересует только при изготовлении секции.

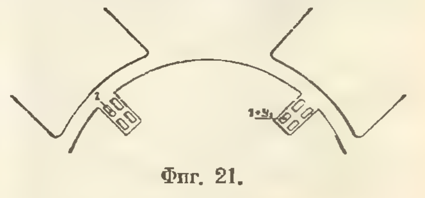
Введением термина «якорный пучек» мы в формулах обмоток, которые указывают, как должны соединяться отдельные якорные пучки или секции между собой для получения желательных электрических свойств, отбрасываем понятие «проводники».



Каждая секция состоит из двух якорных пучков, из которых один расположен в верхней части паза, другой в нижней половине паза, занятого секцией.

Чтобы заполнить все пазы одним типом секций, нужно, чтобы каждая половина паза содержала целое число якорных пучков, т.-е. число пучков в каждой секции должно быть четное—это условие можно выразить иначе, а именно: число секций $S$ должно быть кратным числу пазов $R$.

Чтобы ограничиться одним типом секций, форма секций должна быть такова, чтобы якорный пучек, напр., 1, расположенный в левом пазу вверху, соединялся бы с пучком $1+y_1$, расположенным внизу с левой стороны другого паза (фиг. 21).



Фиг. 21.

Если обозначим общее число пучков через $F$, можно написать $F=2S$.

Пучки, расположенные в верхней части пазов, обозначают нечетными цифрами; пучки, расположенные в нижней части пазов, обозначаются четными цифрами.

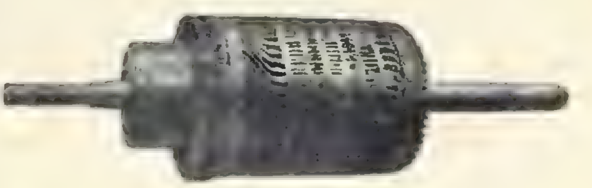
Всякая секция имеет, таким образом, 2 пучка: один—четный, другой—нечетный. Если условиться измерять шаг $y$ числом пучков, которые разделяют на якоре

пучки, составляющие секцию, то шаг $y$ представит разницу двух чисел, из которых одно четное, другое нечетное, и будет всегда числом нечетным.

Это условие, вместе с ранее приведенными, позволяет установить данные для изготовления секции, если подсчетом установлено число витков и размеры проводников.

Интересно заметить, что уже сейчас можно представить себе внешний вид, который будет иметь обмотанный якорь, если отвлечься от электрических свойств, которыми он должен обладать.

Электрические же свойства якоря зависят только от последовательного соединения свободных концов секций между собой, которое производится, чтобы образовать замкнутую обмотку.



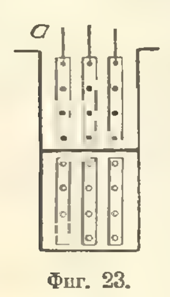
Фиг 22. Якорь с броневой обмоткой.

Фиг. 22 относится к законченному якорю броневой обмотки.

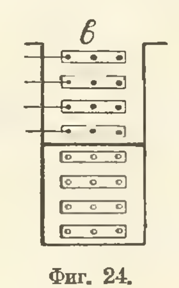
**Положение пучков в пазу.** Рассмотрим паз, в верхней половине которого находятся 12 проводников. Мы можем расположить пучки или на ребро, или горизонтально.

Первое расположение требует три секции в пазу, второе—четыре.

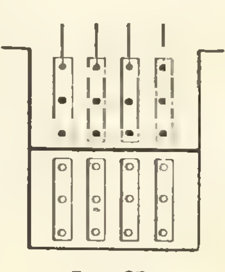
Расположение горизонтальное (фиг. 24) менее рационально, чем вертикальное, (фиг. 23), так как секции расположены, в этом случае, различно по отношению к основанию паза. в виду чего они имеют различные коэффициенты самоиндукции. Нужно стремиться к вертикальной группировке, которая является предпочтительной, так как она представляет также несколько лучшее использование материала.




Фиг. 23.




Фиг. 24.



Фиг. 25.

Если нам желательно иметь 4 секции, можно изменить форму паза, как указано на фиг. 25, не касаясь вопроса, какие соотношения между пазами и зубцами якоря более удачные.

## ГЛАВА IV.

## Обмотка должна представлять замкнутую цепь.

Последовательное соединение секций обмотки; условие, которое должно быть соблюдено, чтобы обмотка была замкнута, и чтобы использованы были все пучки.

**Чертежи обмоток.** Применяются два способа для изображения обмотки.

1) Система разверток (фиг. 26). По этой системе якорь предполагается разрезанным по образующей и развернутым на плоскости.

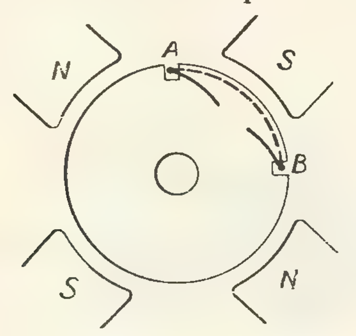
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Фиг. 26. Система разверток.

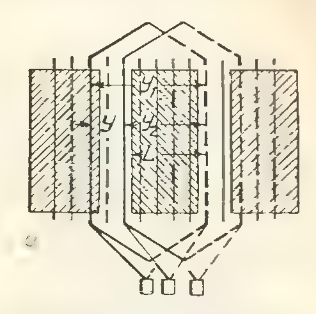
Якорные пучки, которые расположены в пазах. изображаются прямыми, параллельными оси машины и расположенными на равных расстояниях; сплошные линии пред-

ставляют пучки в верхней части пазов, пунктирные линии — пучки в нижней части пазов.

2) Система проекций. По этой системе ось машины принимается перпендикулярной к плоскости чертежа. Якорные пучки изображаются либо в виде точек,




Фиг. 27. Фронтальная проекция.



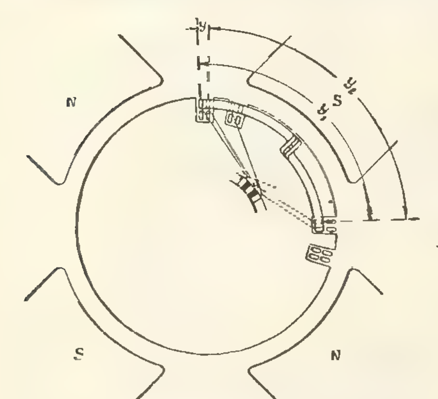
Фиг. 28. Петлевидная обмотка (в развертке).

равномерно распределенных по окружности, либо соответственно их действительному расположению в пазах.

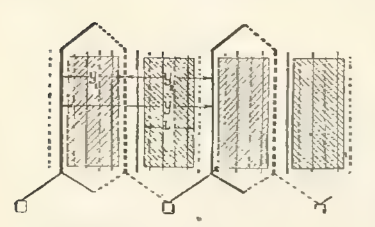
**Петлевидная и волнообразная обмотки.** Последовательное соединение секций для получения замкнутой цепи производится двояким способом.

Первый характеризуется тем, что секции обмотки имеют последовательное направление взад и вперед попеременно, образуя, таким образом, петли.

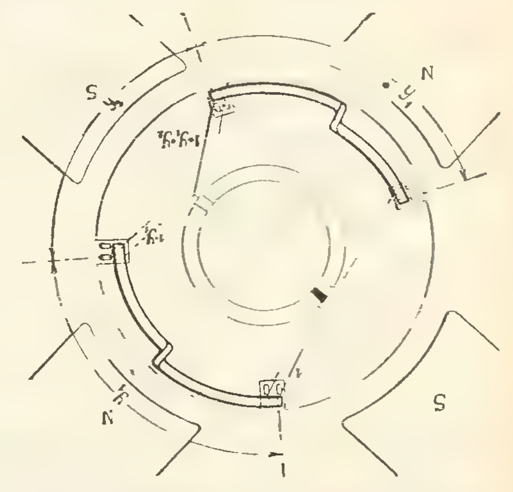
По этой системе соединяют всегда последовательно конец одной секции с началом другой (фиг. 28 и 29).




Фиг. 29. Петлевидная обмотка (в проекции).



Фиг. 30. Волнообразная обмотка (в развертке).




Фиг. 31. Волнообразная обмотка (в проекции).

Для того, чтобы при таком способе соединения напряжения складывались, необходимо, чтобы соответственные секции находились в один и тот же момент под действием одного и того же полюса или одноименных полюсов.

Второй метод характеризуется последовательным движением вперед, т.-е. образованием волн, почему обмотка получила название волнообразной. (Фиг. 30 и 31).

Шаги составляющие и шаги результирующие.—Обмотка петлевидная.

Для числового выражения расстояния между пучками мы будем принимать за единицу расстояние между двумя соседними пучками, на чертежах по системе разверток.

От пучка 1 идем в пучек $(+y_1)$, затем от пучка $(1+y_1)$ возвращаемся в пучек $(1+y_1)-y_2$. Расстояния $y_1$ и $y_2$ называются составляющими шагами, расстояние $y$—результирующим шагом. Расстояние $y$ характеризует перемещение по окружности якоря при переходе от одной секции к следующей.

Для последовательного соединения двух соседних секций расстояние это принимают равным $\pm 2$ в зависимости от того, как идет обмотка—вправо или влево.

Чтобы не вводить противодействующей электродвигательной силы, нужно, чтобы не только $y_1 > L$—условие, необходимость выполнения которого было уже ранее указано, но чтобы также $y_2 > L$ (фиг. 30).

Волнообразная обмотка. Назовем, как выше, составляющие шаги через $y_1$ и $y_2$ и результирующий шаг через $y$. Мы можем написать при волнообразной обмотке следующее уравнение:

$$y = y_1 + y_2.$$

Должно быть также соблюдено условие:

$$y_1 \text{ и } y_2 > L.$$

Мы можем теперь дать себе отчет о виде, который имеет как петлевидная, так и волнообразная обмотки. Этот вид поучителен в том отношении, что здесь исчезает элементарный проводник, который интересен лишь с точки зрения витка, между тем как нас интересует только якорный пучек и секция.

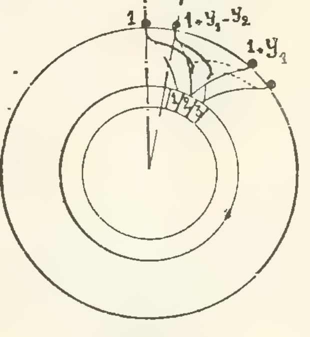
Заметим также, что элемент обмотки—секция, будет иметь совершенно одинаковый вид при петлевидной или волнообразной обмотке и разница между ними будет только в отношении соединения с коллектором [1]).

**Условия, при которых цепь обмотки замкнута.** Всякая обмотка, петлевидная ли или волнистая, должна замкнуться, использовав один раз, но и не более одного раза, все якорные пучки.

Раньше, чем рассматривать условия, которым должны удовлетворять шаги $y$, $y_1$ и $y_2$, следует отметить, что петлевидная обмотка представляет только частный случай волнообразной обмотки.

На самом деле, рассмотрим петлевидную обмотку (фиг. 32).

Пучек 1 соединяется с пучком $1+y_1$, пучек $1+y_1$ с пучком $(1+y_1)-y_2$. Итти же обратно на $y_2$ пучков—равнозначуще: итти вперед на $F-y_2$ пучков.



Фиг. 32.

Таким образом, петлевидная обмотка с шагами $y_1$ и $y_2$ равнозначуща волнообразной обмотке с шагами $y_1$ и $F-y_1$.

Выводы, сделанные для волнообразных обмоток, могут применяться, если принять новое значение шага $y_2$, к обмотке петлевидной.

Замыкание цепи волнообразной обмотки. Если исходить от пучка 1 (фиг. 32) и если обмотка замкнута, мы должны притти к тому же пучку после

[1]) Мы считаем полезным обратить особое внимание на то, что петлевидная и волнистые обмотки должны относиться к якорным пучкам, а не к элементарным проводникам, потому что, пока читатель еще не вполне освоился с вопросом, он стремиться осуществить ту и другую систему на проводниках. При шинной обмотке, когда каждая секция состоит из 1 витка—это возможно, но если обмотка состоит из проводников—этот способ будет непрактичен.

того, как $a$ раз пройдем якорную обмотку. С другой стороны, мы в это же самое время должны пройти столько раз $y$ пучков, сколько имеется секций, т.-е. $\frac{F}{2}$ раз $y$ пучков.

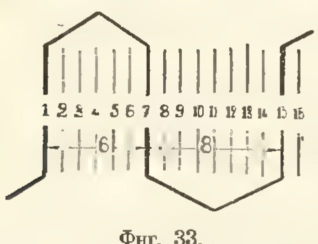
Это условие можно написать в виде уравнения:

$$\frac{F}{2}y = aF,$$

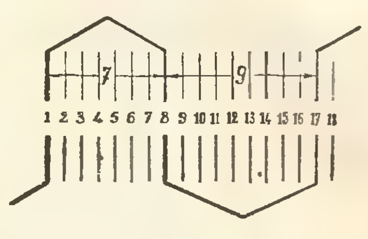
откуда $y = 2a$, т.-е. $y$ должно быть число четное.

Последовательное использование четных и нечетных пучков. Результирующий шаг $y$ — сумма составляющих шагов $y_1$ и $y_2$ — должен быть числом четным, в виду чего величины $y_1$ и $y_2$ должны быть оба четными или оба нечетными.

Если оба шага были бы четными, считая от первого пучка, то использованы были бы только нечетные пучки (фиг. 33).




Фиг. 33.




Фиг. 34.

Если же шаги $y_1$ и $y_2$ нечетные, то пройдем попеременно нечетные и четные пучки (фиг. 34).

Таким образом, $y_1$ и $y_2$ должны быть нечетными (1).

Использование всех пучков. Вышеприведенные условия недостаточны, чтобы утверждать, что использованы все пучки, потому что обмотка может быть замкнута через какую-нибудь часть пучков.

Требуется добавочное условие, чтобы $\frac{y}{2}$ и $\frac{F}{2}$ были числа первые между собой.

В самом деле, если это условие не осуществлено, то можно написать уравнение:

$$\frac{y}{2} = qd \quad \dots\dots\dots\dots \quad (1)$$

$$\frac{F}{2} = qd', \quad \dots\dots\dots\dots \quad (2)$$

где $q$ общий делитель.

Если мы пойдем от пучка 1, то, пройдя $2d'$ пучков, мы пройдем $d'$ секций или $d'y$ пучков . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . (3)

Но так как из уравнения (1) $y = 2qd$, то, заменив $y$ этой величиной в уравнении (3), получим:

$$d'y = 2qd'd \quad \dots\dots\dots\dots \quad (4)$$

Из уравнения (2) мы имеем $F = 2qd'$. Заменяя $2qd'$ через $F$ в уравнении (4), получаем $d'y = dF$.

Таким образом, когда мы проходим $d'y$ пучков или $2d'$ пазов — мы пройдем вокруг арматуры $d$ раз и придем в пучек 1.

Чтобы к этому моменту были пройдены все пучки и один только раз, надо, чтобы $2d' = F$.

Из уравнения (2) получим, что $q = 1$, т.-е., что числа $\frac{y}{2}$ и $\frac{F}{2}$ — числа первые между собой.

При обмотке петлевидной, следовательно, это условие выражается так:

$$\frac{y_1 + (F - y_2)}{2} \text{ должно быть первым с } \frac{F}{2} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (1)$$

А так как $y_1 - y_2 = y$, то условие (1) можно написать таким образом:

$$\frac{F}{2} + \frac{y}{2} \text{ должно быть первым с } \frac{F}{2}.$$

Так как на практике $y$ принимают равным $\pm 2$, то условие, что $\frac{F}{2} \pm 1$ должно быть числом первым с $\frac{F}{2}$, всегда выполняется; следует, однако, отметить, что если $y$ будет более 2, то это условие не будет выполнено.

Резюмируя вышесказанное, можно сказать: $y$ — *будет четным*, $y_1$ и $y_2$ *нечетными для обмоток всех типов.* $\frac{y}{2}$ и $\frac{F}{2}$ — *числа первые между собой для волнистых обмоток.*

*На практике принимают* $y_1$ *и* $y_2$ *так, что они мало отличаются друг от друга.*

## ГЛАВА V.

## Обмотка якоря в каждый момент должна иметь $2a$ ветвей.

(Зависимость между результирующим шагом и постоянными коэф. обмотки, обусловленная требованием иметь $2a$ направлений. Число щеток для отвода тока).

**Обмотка петлевидная.** Эта обмотка применяется только, как параллельная, при $2a = 2p$.

Обмотка, таким образом, должна обладать свойствами вперед идущей кольцевой обмотки.

При кольцевой вперед идущей (поступательной) обмотке напряжения на коллекторе последовательно возрастают, если будем итти от отрицательной щетки последовательно по коллектору, пока дойдем до положительной щетки.

Для получения такого последовательного повышения напряжения нужно последовательно соединить соседние секции якоря; откуда и получается условие:

$$y = y_1 - y_1 = \pm 2.$$

Чтобы шаги $y_1$ и $y_2$ были бы близки, насколько это только возможно, к полюсному шагу $\frac{F}{2p}$, достаточно будет, если мы сделаем $y_1 = \frac{F}{2p} \pm 1$ и $y_2 = \frac{F}{2p} \mp 1$ при $y_1$ и $y_2$ нечетных (условие, чтобы обмотка была замкнута).

Но может случиться, что частное $\frac{F}{2p}$ не будет целым числом или оно будет нечетным; тогда шаг укорачивают, уменьшив $F$ на возможно малую величину $b$, но так, чтобы частное $\frac{F-b}{2p}$ было число целое и четное.

Таким образом, в формулах:

$$y_1 = \frac{F-b}{2p} \pm 1 \text{ и } y_2 = \frac{F-b}{2p} \mp 1$$

$y_1$ и $y_2$ нечетные числа; величина же $b$ может быть равна 0.

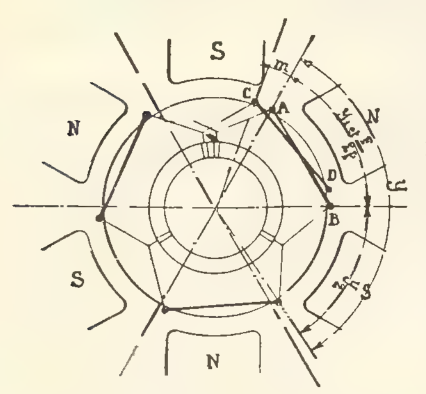
**Волнообразная обмотка.** Будем исходить из пучка $A$, расположенного по нейтрали (фиг. 35).

Этот пучек может рассматриваться, как служащий началом направления обмотки, т.-е. как соединенный с коллекторной пластиной, по которой скользит щетка.

Чтобы перейти от секции $AB$ в этом направлении к следующей секции, расположенной под одноименным полюсом, мы идем вперед на $y$ (равное $y_1 + y_2$)

пучков; для того, чтобы обмотка не замкнулась бы уже при первом круге, т.-е. после прохода $p$ секций, $y$ должно быть или немного менее или немного более двойного полюсного шага.

При таком условии последовательные секции будут все более смещаться вперед или назад по отношению к последовательным одноименным полюсам в сравнении с исходной секцией. В результате таких последовательных смещений, секции, напр., от северного полюса будут передвинуты к южному, а южного — к северному и т. д.; если же будет выполнено условие замкнутости обмотки, то после прохода $S$ секций мы придем в исходную секцию $AB$, замыкающую обмотку. Чтобы узнать число направлений данной обмотки, достаточно сосчитать, сколько раз секции обмотки переходят от индукции одной полярности к индукции другой полярности, так как при всяком таком переходе изменяется направление наведенной электродвигательной силы. Число таких переходов будет $2a$, если обмотка имеет $2a$ ветвей.



Фиг. 35. Волнообразная обмотка.

Постараемся выразить эти условия как функцию постоянных величин, характеризующих обмотку.

Если будем исходить из пучка $A$, то после прохода $p$ секций мы придем к пучку $c$, который составляет с $A$ некоторый угол, который может быть измерен количеством $+m$ пучков между $A$ и $C$.

Это число $\pm m$ характеризует угол опережения или отставания для данного числа $p$ секций; этот угол называется **сдвигом в поле** на $p$ секций; на секцию угол смещения измеряется $\pm \frac{m}{p}$ пучками.

Для $S$ секций, из которых состоит обмотка, угол смещения измеряется $S \cdot \frac{m}{p}$ пучками.

С другой стороны, утверждая, что при переходе от какой-либо секции, расположенной под данным полюсом, мы путем смещения угла в одном направлении переходим от индукции одной полярности к индукции противоположного знака, и что это повторится $2a$ раза, мы тем самым утверждаем, что общий угол смещения равен углу, разделяющему $2a$ полюсов.

Так как угол между полюсами, как функция числа пучков, выражается числом $\frac{F}{2p}$ или $\frac{S}{p}$, то можно написать соотношение $\pm \frac{S \cdot m}{p} = 2y \frac{S}{p}$ или $\pm m = 2a$.

Для составления второго уравнения может служить следующая зависимость: между $A$ и $C$ мы проходим $py$ пучков, а между $C$ и $A$ — $\pm m$ пучков; с другой стороны, $py \pm m$ пучков представят полный круг по якорю.

Таким образом, можем написать уравнение $py \pm m = F$.

Подставив из уравнения (1) $py + 2a = F$, получим $y = \frac{F \pm 2a}{p}$.

Таким образом, имеем зависимость между шагом $y_1$, общим числом пучков $F$, числом пар полюсов $p$ и числом направлений $2a$, независимо от условия замкнутости обмотки, которое нами ранее было установлено, а именно: $y$ — четное, $y_1$ и $y_2$ — нечетные величины, $\frac{y}{2}$ и $\frac{F}{2}$ — числа первые между собой.

Чтобы обмотка могла быть выполнима, необходимо, чтобы $F \pm 2a$, деленное на $p$, давало в частном число целое и четное; $y$ же — сумма двух нечетных величин, должно быть числом четным.

Частный случай: 1) Последовательная обмотка; $2a=2$.

$$y=\frac{F\pm 2}{p}.$$

2) Обмотка последовательно параллельная; $2a=2p$.

$$y=\frac{F\pm 2p}{p}=\frac{F}{p}\pm 2.$$

**Многократно замкнутая обмотка.** Каждая из составных обмоток определяется, как указано выше. Что касается секций, соседних по окружности якоря, то они принадлежат разным обмоткам.

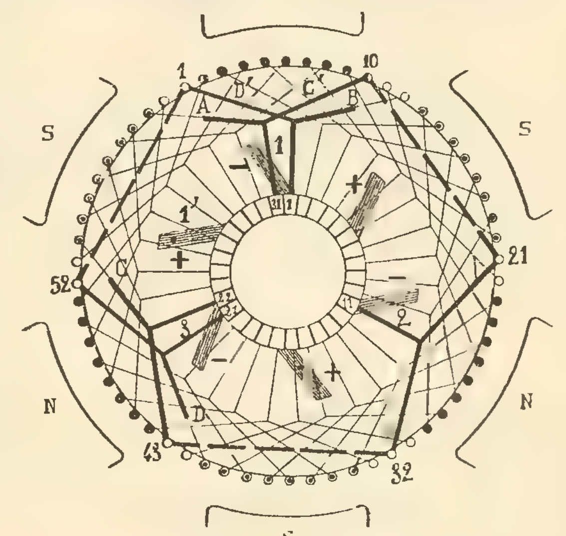
**Количество щеток для отвода тока. Поступательная обмотка.** Такая обмотка имеет число ветвей обмоток, равное числу полюсов. Изменение направления электродвигательной силы происходит на нейтральных линиях; напряжение возрастает или убывает равномерно по коллектору от одной нейтрали к другой. Для параллельного соединения этих ветвей обмоток требуется, в виду вышесказанного, щетка на каждой нейтрали и потому число щеток всегда равно $2p$ и $2a$.

В случае многократной поступательной обмотки число щеток остается равным $2p$, но, в виду параллельного соединения $q$ приключенных обмоток, требуется, чтобы щетки были достаточно широкие, чтобы покрыть $q$ коллекторных пластин, где $q$ степень многократности обмотки.

Волнообразная обмотка. Рассмотрим волнообразную обмотку (фиг. 36), характеризуемую следующими данными:

$$2p=6;\quad 2a=4;\quad F=62.$$

$$y_1=y_2=\frac{62+4}{6}=11.$$




Фиг. 36. Расположение щеток.

На коллекторе поместим столько щеток, сколько динамомашина имеет полюсов, т.-е. 6 штук.

Дадим щеткам ширину, равную коллекторным пластинам, и расположим их на 60° друг от друга, при чем так, чтобы щетка 1 была соединена с проводником 1, расположенным на нейтрали.

Мы можем усмотреть в $A$, $B$, $C$ и $D$ четыре отрицательные конца от 4 ветвей обмотки. Что касается щетки 2, то она отнюдь не является обязательной и ее можно и откинуть, от чего только увеличится плотность тока под другими щетками и изменятся коротко-замыкаемые секции.

Мы можем и далее пойти по этому пути и откинуть еще, напр., щетки 3 и 1. Если откинуть, напр., щетку 3, то исходным пунктом вместо $C$ и $D$ будут $C_1$ и $D_2$, при этом не изменится ни электродвигательная сила, ни путь обмотки, так как пучки 43, 32, 21 и 10 с одной стороны, 52 и 1 с другой стороны мало или почти совсем неактивны.

Если применить то же рассуждение к положительным щеткам, то мы можем оставить, напр., только щетку 1′.

Будем теперь вращать якорь; в определенный момент щетка 1 будет касаться только 31 коллекторной пластины и произойдет перерыв в двух направлениях обмотки, то же произойдет со щеткой 1′.







Чтобы этого избежать, нужно дать оставшимся двум щеткам ширину, равную двум коллекторным пластинам.

Это положение в более общем виде может быть выражено следующим образом: число щеток при волнообразной обмотке может быть от $2p$ доведено до 2 при условии, если щетки будут ширины достаточной, чтобы покрыть $a$ коллекторных пластин.

Как само собой понятно, одна коллекторная пластина может служить начальным и конечным пунктом для двух направлений обмоток.

Чтобы щетка служила для параллельного соединения $2a$ ветвей, необходимо, чтобы она касалась $a$ пластин коллектора.

Такое уменьшение числа щеток не рекомендуется, но если коллектор трудно доступен, напр., в трамвайно-железнодорожных моторах, можно ограничиться двумя щетками под углом $\frac{\pi}{p}$, расположенными в более доступном для ухода месте.

Примечание. При барабанном якоре щетки обычно поставлены под полюсами потому что обычно для соединения одного пучка секции с коллектором проходят половину, шага $y_1$ этой секции.

**Распределение напряжения по коллектору.** При поступательной обмотке соединяемые последовательно секции расположены рядом на якоре и присоединяются к двум смежным коллекторным пластинам, как и в кольце Грамма.

Напряжения возрастают, таким образом, в обмотке постепенно от отрицательной к положительной щетке.

Если обозначим через $U$ напряжение между разноименными полюсами, через $u$ напряжение, индуцируемое в каждой секции, и через $e$ напряжение между соседними коллекторными пластинами, можно написать:

$$e = u = \frac{U}{\frac{K}{2p}} = \frac{2pU}{K} = \frac{2aU}{K},$$

так как в этих обмотках $2p$ всегда равно $2a$.

При **волнообразной обмотке**, если мы будем исходить от коллекторной пластины 1, мы придем после $p$ секций к коллекторной пластине $K \pm a$.

Разность напряжения после $a$ коллекторных пластин равна $pu$, откуда разность напряжения, приходящаяся на 1 пластину:

$$e = \frac{p}{a} u \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Если $a = p$ (последовательно-параллельная обмотка), то напряжение $e$ между пластинами будет при прочих равных условиях такое же, как и при якоре с петлеобразной обмоткой.

Если $a > p$, то напряжение между смежными коллекторными пластинами будет меньше напряжения между секциями.

На практике чаще всего $a > p$ и очень часто $a = 2$ (простая последовательная обмотка), и тогда, согласно уравнения (1), получаем, что напряжение $e$ выше напряжения $u$.

Если имеем последовательную обмотку, где:

$$u = 2 \text{ вольтам}; \quad 2p = 20; \quad 2a = 2,$$

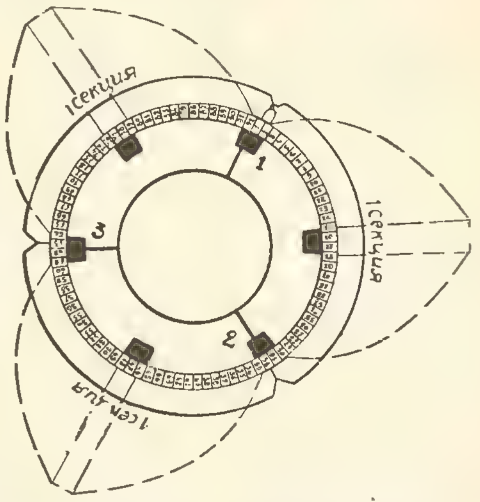
то напряжение $e$ будет иметь значение: $e = \frac{10}{1} \cdot 2 = 20$ вольт.

Из вышеуказанного примера мы видим, что при обмотке такого рода следует убедиться, что напряжение между двумя пластинами коллектора не превосходит 25 вольт, каковая величина должна быть принята, как максимально допускаемая для напряжения $e$.

Фиг. 37 дает характеристику изменения напряжения между щетками коллектора для простой последовательной обмотки со следующей характеристикой:

$$2a = 2; \quad 2p = 6; \quad F = 184.$$

$$y_1 = y_2 = \frac{184 + 2}{6} = 31.$$




Фиг. 37. Распределение разности напряжений по коллектору.

Следует отметить следующее общее свойство, что каков бы ни был тип обмотки, кривая напряжения у коллектора имеет всегда $p$ максимумов и $p$ минимумов и во всех случаях можно, таким образом, поместить по коллектору $2p$ щеток.

Из фигуры можно также усмотреть возможность уменьшения числа щеток до двух, как это было указано выше в параграфе о числе щеток для отвода тока.

Чтобы это можно было осуществить, нужно, чтобы коллекторные пластины 1 и 32, 32 и 63, 63 и 2 были соединены между собой не только непосредственно проводником между щетками, но и через секции 1 — 32, 32 — 63, 63 — 2.

Опустив щетки 2 и 3, мы этим, однако, увеличиваем плотность тока в щетках и ухудшаем коммутацию.

## ГЛАВА VI.

## Различные обмотки.

**Простые обмотки.** Главные факторы, определяющие конструкцию якоря, нижеследующие: угловая скорость, разность напряжения у клемм и наибольшая сила тока, даваемая машиной.

Комбинируя эти величины, мы можем иметь чрезвычайно большое число типов машин.

Чтобы удовлетворить вышеупомянутым условиям при заданном числе полюсов $2p$, мы можем подобрать наиболее подходящую группировку секций, установив нижеследующее число направлений обмоток $2a$:

1) Частные случаи:

$2a = 2$ — последовательные обмотки.

$2a = 2p$ $\begin{cases} \text{петлевидные, параллельные обмотки,} \\ \text{волнообразные, частный случай,} \\ \text{параллельно-последовательные обмотки.} \end{cases}$

2) Общие случаи.

$2a > 2$ параллельно-последовательные обмотки.

Как мы далее увидим, можно сделать $2a > 2p$ в весьма небольших пределах.

Эта свобода выбора числа ветвей обмоток по отношению к числу полюсов позволяет изменять два фактора: электродвигательную силу и силу тока, что и позволяет иметь рациональное решение во всех случаях практики.

**Многократно замкнутые обмотки.** Такие обмотки получаются, если поместить на один и тот же якорь обмотку и коллекторные пластины двух или нескольких простых обмоток, из которых каждая обладает вышеперечисленными свойствами.

Для отвода тока достаточно подобрать щетки достаточно широкие, которые и присоединяются одновременно к коллекторным пластинам различных элементарных обмоток.

## ГЛАВА VII.

**Нумерация пучков в пазах, обмоточные таблицы, приведенные схемы.** Рассмотрим петлевидную обмотку, для которой приняты следующие данные:

$$2p = 4; \ R = 38; \ F = 152;$$

$$Y_1 = \frac{152}{4} + 1 = 39; \ Y_2 = \frac{152}{4} - 1 = 37.$$

Пучек 1 вместе с пучком 40 составляют одну секцию. Пучек 40 соединен с пучком 3 через коллекторную пластину; пучек 3 и 42 составляют следующую секцию и т. д.

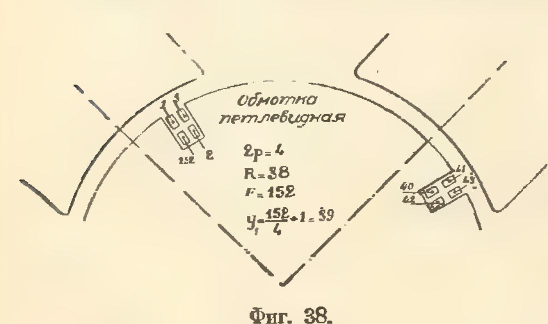
Составление наглядной схемы не представляет, таким образом, никакого затруднения.

На практике пучки группируются по 4 в одном пазу и каждая секция должна иметь один из своих пучков в верхней части одного паза и один пучек в нижней части другого паза. Чтобы нумерация пучков совпадала с требованиями практики, достаточно будет, если мы дадим нечетные номера пучкам в верхней части пазов и четные — находящимся в нижних частях.

Подлежит выполнению и следующее условие. Пучек 1 находится наверху и влево паза, пучек 40 должен находиться влево и внизу другого паза.

Если обозначим пучек, расположенный под пучком 1, через 2, пучек же, расположенный под пучком 3, через 4 и т. д., то пучек 40, как легко проверить, будет находиться внизу и справа в 10 пазу.

Чтобы наше обозначение вполне совпадало с требованием практики, мы должны изменить принятый порядок и назвать пучек, находящийся под пучком 1, не через 2, но 152 (фиг. 38). Пучек 40 будет уже не в 10 пазу, а в 11.




Фиг. 38.

Такая проверка должна производиться каждый раз.

**Таблицы обмоток.** Назначение таблиц позволит легко выяснить:

1) Цепи коммутации.

2) Последовательность коммутации в функции положения пучка в пазу.

3) Пучки, дающие максимальную разность потенциалов.

4) Разность потенциалов между двумя какими-либо пучками, напр., между двумя пучками, находящимися в одном пазу.

Мы увидим в дальнейшем, на численных примерах, как составлять таблицы и как ими пользоваться.

**Приведенные схемы.** Профессор Арнольд предложил метод для упрощения схемы волнообразной обмотки, заменяя волнообразные обмотки вперед-идущими (поступательными) кольцевыми обмотками.

Рассмотрим следующие два случая.

1) Шаги $y_1$ и $y_2$ — равны. Рассмотрим, напр., обмотку многополюсную, последовательно-параллельную обмотку, согласно следующих данных: $F = 24$; $2a = 4$. $2p = 4$.

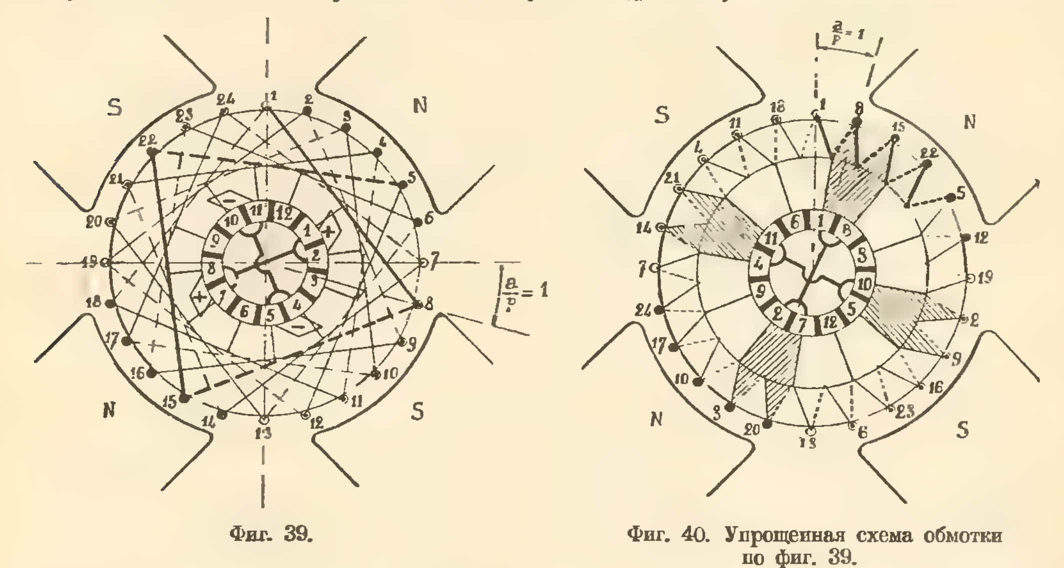
Мы имеем: $y = y_1 + y_2 = \frac{F}{p} \pm 2 = \frac{24}{2} \pm 2 = 10$ или $14$.

Примем: $y_1 = y_2 = 7$.

Такая обмотка представлена схематично на фиг. 39. Расстояние между двумя пучками 1—8 равно полюсному шагу, увеличенному на смещение в поле пучка 8.

Смещение в поле на секцию, т.-е. на шаг $y$, будет, как уже было ранее установлено, равно $\frac{2a}{p}$. Если шаги $y_1$ и $y_2$ равны, то смещение пучка 8 от шага $y_1$ будет равно $\frac{a}{p}$, т.-е. 1 в нашем случае.

В пучке 8 получилась бы почти та же электродвигательная сила, но противоположная по знаку, если мы его поместим на расстоянии от пучка 1, равном смещению, т.-е. в настоящем случае на место пучка 2 (фиг. 40).




Фиг. 39. Фиг. 40. Упрощенная схема обмотки по фиг. 39.

Электродвигательная сила будет при этом обратной по знаку; для того же, чтобы они были последовательно соединены, достаточно соединить пучки 1 и 8 кольцевым витком. Таким же образом пучек 15 может быть перемещен в 3 и т. д.

Полученная, таким образом, кольцевая обмотка эквивалентна нашей барабанной обмотке в отношении направления обмоток и электродвигательной силы.

Отыскание коротко замкнутых обмоток при коммутации [1]).

Очень удобно по приведенной схеме рассмотреть условия коммутации.

Примем ширину щеток равной коллекторной пластине и пусть положительная щетка (+) опирается на пластины 1 и 2 с одной стороны и 7 и 8—с другой стороны (фиг. 39). Щетки же (—), расположенные под углом в 90°, касаются в это время пластин 4 и 5 и 10—11.

Если мы коротко замкнем на приведенной схеме (фиг. 40) те же коллекторные пластины, что и на действительной схеме, мы ясно выделим цепи коммутации (заштрихованные поверхности).

Примечание. Мы выше принимали условие $\frac{a}{p} = 1$, т.-е., что обмотка имеет столько ветвей, сколько полюсов. Смещение в виду этого равно 1, расстояние пучков упрощенной схемы равно смещению в действительной схеме, в виду чего одинаковы диаметры якоря и числа полюсов.

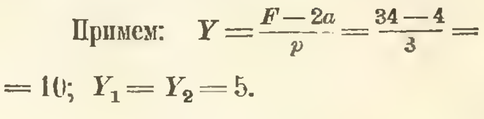
Если число ветвей обмотки отличается от числа полюсов, то расстояние между пучками упрощенной схемы, равное всегда смещению — изменяется в отношении $\frac{a}{p}$,

---

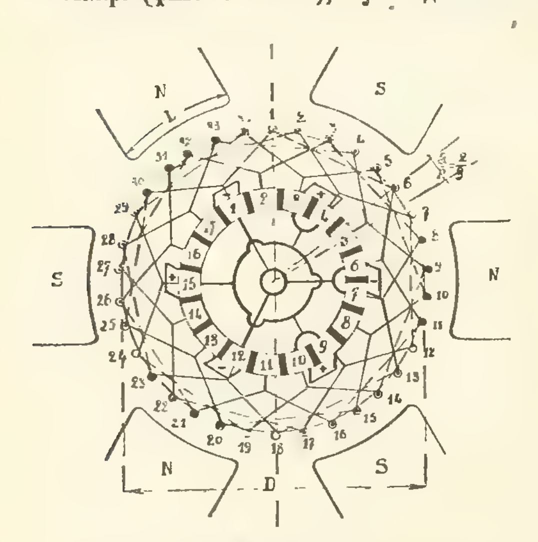
[1]) Чтобы не усложнять схемы, соединения между щетками, которые на самом деле происходят вне коллектора, представлены внутри коллектора. Эти соединения между щетками представляют соединения вне машины и совершенно отличны, конечно, от соединений между коллекторными пластинами, о которых будет речь далее при рассмотрении эквипотенциальных соединений.

откуда пропорциональное изменение диаметра и, следовательно, числа полюсов, если полюсная и междуполюсная дуга сохраняют свою длину.

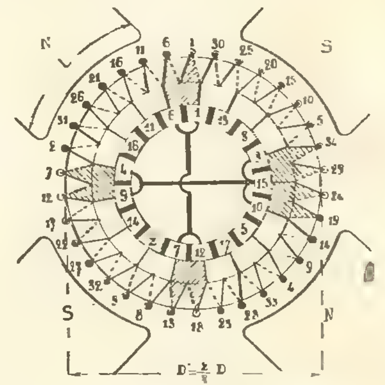
Напр. (фиг. 41 и 42), пусть дано: $F = 34$, $2p = 6$, $2a = 4$.



Примем: $Y = \frac{F - 2a}{p} = \frac{34 - 4}{3} = 10$; $Y_1 = Y_2 = 5$.




Фиг. 41. Последовательно параллельная обмотка $2p = 6$; $2a = 4$.




Фиг. 42. Упрощенная схема обмотки по фиг. 41.

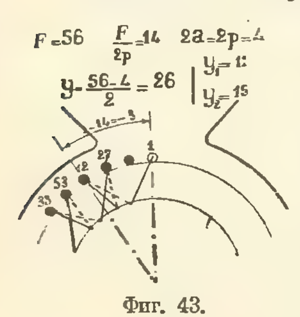
Смещение $\frac{a}{p} = \frac{2}{3}$, т.-е. расстояния между смежными пучками приведенной схемы, составляют $^2/_3$ расстояния действительной схемы. Диаметр нового якоря составит $^2/_3$ действительного.

Что касается полюсов, то число их должно быть уменьшено в отношении 3 к 2, чтобы длина полярной дуги не изменилась.

Примечание. Не делая никакой гипотезы о величине сдвига, легко усмотреть, что число полюсов в приведенной схеме равно числу ветвей обмотки; это условие является характеристичным также для кольцевых многополюсных обмоток.

2) Шаги $y_1$ и $y_2$ — неравны. Если шаги $y_1$ и $y_2$ неравны, — приведенная схема не является уже вперед-идущей (поступательной) кольцевой обмоткой. В этом случае получается кольцевая петлевидная обмотка (фиг. 43).

Можно также получить и наложение пучков (фиг. 44).




Фиг. 43.

Упрощенные схемы. Биовици в своем докладе Французскому О-ву Электротехников с большой похвалой отозвался о новом методе упрощенного изображения барабанных и дисковых обмоток.

Он упрекает приведенную схему в том, что ею совершенно отождествляется барабанная обмотка с кольцевой, в виду чего этот метод имеет следующие недостатки.

Фиг. 44.

Во-первых, кольцевые витки радиальные, в барабанной же обмотке они параллельны оси.

В витках кольцевой обмотки магнитный поток будет иметь максимальное значение и электродвигательная сила равна нулю, когда витки находятся в нейтральной

зоне, в то время как при барабанной обмотке эти же самые условия осуществляются, когда витки охватывают весь магнитный поток полюса.

При кольцевой обмотке при холостом ходе коммутация происходит в витках, активные проводники которых находятся на нейтральных линиях, в якорях же с барабанной обмоткой это имеет место только, если шаг секций укорочен.

При кольцевой обмотке, если электродвигательная сила равна нулю в витке — она равна нулю и в каждом из проводников, из которых состоит виток. Не так обстоит дело при барабанной обмотке, где электродвигательные силы в двух проводниках могут быть равны и противоположны по знаку и не при нулевом значении.

Наконец, при кольцевой обмотке витки, в которых происходит одновременная коммутация под разными щетками, не влияют друг на друга, так как они находятся на расстоянии не менее полюсного шага, в то время как при барабанной обмотке проводники от витков, в которых происходит коммутация под разными щетками, могут находиться в одних и тех же или соседних пазах, что по существу может влиять на условия коммутации.

Исходя из вышеуказанных данных, он старается представить упрощенную схему барабанной обмотки, не пользуясь кольцом Грамма, и приходит к такой схеме на основании следующих рассуждений:

Мы показали (стр. 13), что из шагов $y_1$ и $y_2$ первый определяет размеры секции, а $y_2$—относительное расположение на якоре секций, непосредственно последовательно соединенных через коллекторные пластины.

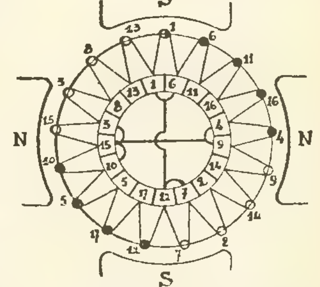
При схемах обмотки, в которых желательно представить только главные свойства обмотки (число ветвей обмотки, число и положение щеток, равно как число и положение секций, в которых происходит коммутация), можно различать шаг $y_2$, который характеризует вышеуказанные условия, от шага $y_1$, который относится к изготовлению обмотки.

Что касается способа изображения обмоток, то каждая секция изображается точкой (·) или малым кружком (○), в зависимости от направления электродвигательной силы.

Эти точки или кружки распределяются равномерно по окружности, изображающей якорь, и характеризуют положение секции на якоре.

Точка или окружность, изображающие секции, носят название **электрического центра секции**, обладающего следующими свойствами:

1) Если поток, охватываемый секцией, имеет максимальное или минимальное значение (электродвигательная сила равна нулю), электрический центр при барабанной обмотке находится по середине полюса. 2) Если поток, охватываемый секцией, равен нулю, электрический центр находится на нейтрали обмотки. Электрический центр на практике может быть, таким образом, рассматриваем, как геометрический центр секции.



**Фиг. 45. Упрощенная схема.**

После вышеуказанного, барабанная обмотка может быть легко изображена.

Фиг. 42 и фиг. 45 представляют два метода упрощенного изображения обмотки фиг. 41, что позволяет сравнить в отношении ясности и удобства чтения схемы:

1) обычной лобовой проекции,

2) упрощенной схемы Арнольда,

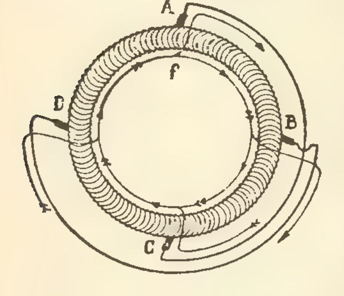
3) упрощенной схемы Биовици.

Диаметр якоря при упрощенной схеме и число полюсов определяются, как уже было указано для приведенной схемы.

# ГЛАВА VIII.

## Эквипотенциальные соединения.

Рассмотрим параллельную обмотку на 4 направления (фиг. 46). Чтобы не было циркуляций тока внутри замкнутой цепи, которая образуется обмоткой, нужно, чтобы сумма наведенных напряжений в каждый момент равнялась нулю.




Фиг. 46. Циркуляционные токи.

Если это условие невыполнимо, т.-е. если электродвигательная сила индукции по различным направлениям не будет в каждый момент одинакова, в якоре будет происходить циркуляция тока, а, следовательно, и добавочный нагрев обмоток.

Кроме этого неприятного явления, имеет место другое еще более неприятное. Пусть, напр., $f$ будет направление циркуляционного тока. Когда ток приходит к щетке $A$, напр., он может итти от $A$ к $C$ по двум направлениям.

Первая цепь, которая образована обмоткой, представляет большую самоиндукцию, второй же путь, образованный медными шинами, соединяющими оба положительных полюса, не представляет большой самоиндукции и сопротивление этого пути, которое заключает только сопротивление угольных щеток. весьма невелико, и потому по этому пути пойдет, главным образом, циркулирующий ток, что вызывает искры на коллекторе.

Неравенство электродвигательной силы по разным направлениям обмотки происходит в особенности при многополюсных якорях при петлевидной обмотке, если магнитные потоки, которые производят отдельные полюса, не совершенно тожественны.

Чтобы эти токи не вызывали порчи коллектора, достаточно дать току путь с меньшим сопротивлением, чем через щетки, непосредственно соединив коллекторные пластины якоря, которые имеют во время вращения якоря одинаковые потенциалы (фиг. 47).

В случае фиг. 47 такими пластинами являются $A$ и $C$, $B$ и $D$—диаметрально противоположные.

**Причины возникновения выравнивающих токов.** 1) Петлевидная обмотка. Опыт показывает, что почти невозможно осуществить многополюсную машину так, чтобы магнитные потоки были совершенно одинаковые и с одинаковой индукцией. Главные причины явления — раковины в индукторах, эксцентричность якоря или неравенство ампер-витков индуктора.

Фиг. 47. Эквипотенциальные соединения.

От этой несимметрии и происходит неравенство в электродвигательной силе в различных ветвях обмотки, в результате чего возникают выравнивающие токи, реакция которых стремится выравнивать поле.

Эквипотенциальные соединения представляют этим уравнивающим токам малое и безиндукционное сопротивление, что усиливает эти токи, а вместе с тем и увеличивает реакцию и улучшает электрическое равновесие якоря.

2) Волнообразная обмотка. При такой системе каждая ветвь обмотки подвержена действию потока всех полюсов и разность напряжения между отдельными ветвями обусловливается только неодинаковой индукцией у полюсов.

В таких случаях можно получить между смежными коллекторными пластинами напряжения, превышающие расчетную их величину, что может служить причиной искрообразования.

Эквипотенциальные соединения, вызывая компенсационные токи, уменьшают диссимметрию и, не давая току проходить через щетки, избавляют коллектор от вредного искрообразования.

Примечание. На практике довольствуются тем, что эквипотенциальными соединениями снабжается только часть коллекторных пластин. Эта часть колеблется между $^1/_4$ и $^1/_{20}$ для петлевидной и между $^1/_4$ и $^1/_{10}$ для волнообразной обмотки всех пластин коллектора.

**Эквипотенциальные точки при восходящей обмотке.** При этой системе коллекторными пластинами одинакового потенциала являются пластины, которые занимают в каждый момент одинаковое положение по отношению к одноименным индукторным полюсам.

Расстояние между такими пластинами равно расстоянию между щетками одинаковой полярности, т.-е. двойному полюсному шагу.

Если обозначим через $K$ число коллекторных пластин, через $Yk$—шаг потенциала по коллектору, или расстояние между двумя эквипотенциальными пластинами, можем написать (фиг. 48):

$$Yk = \frac{K}{p} = \frac{K}{a} = \frac{F}{2a}.$$

Фиг. 48. Параллельная обмотка $2a = 2p = 6$ соединения эквипотенциальные.

Из вышеуказанного уравнения следует, что $\frac{K}{p}$ и $\frac{F}{2a}$ — числа целые.

Соответственно выбирается и $F$.

В случае многократно параллельной обмотки число пластин на каждую элементарную обмотку равно $\frac{K}{q}$, где $q$ — степень многократности обмотки. Чтобы можно было применить эквипотенциальные соединения к элементарным обмоткам, частное $\frac{K}{qa}$ должно быть числом целым. Что касается шага $Yk$ он всегда равен $\frac{K}{a}$.

В таких обмотках можно непосредственно соединить между собой смежные пластины $q$ обмоток.

Такие соединения должны быть выполнены в небольшом числе пунктов, чтобы токи короткого замыкания отдельных обмоток были, вообще говоря, независимы друг от друга.

**Эквипотенциальные точки в волнообразных обмотках.** Приведенная схема в этом случае является чрезвычайно полезной, так как в таковой волнообразная обмотка имеет форму поступательной обмотки с $2a$ полюсами.

То, что нами ранее было сказано по поводу вперед-идущих (поступательных) обмоток, относится и к приведенной схеме. Отсюда можно заключить, что в приведенной схеме число точек якоря с одинаковым потенциалом будет $a$. Шаг $Y'k$, определяющий расстояние между двумя эквипотенциальными пластинами, в приведенной схеме равен $\frac{K}{a}$.

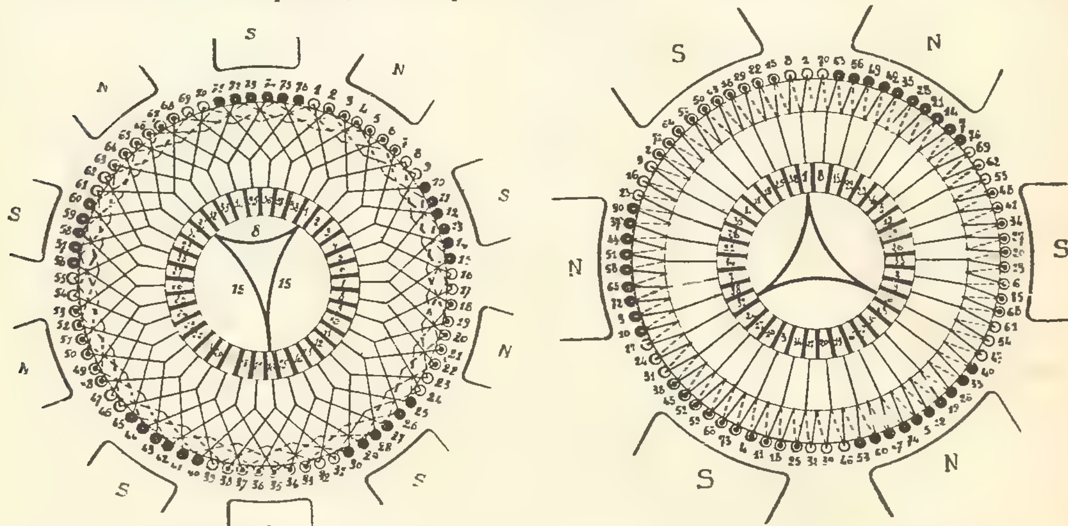
При этом представляются 2 случая:

1) $\frac{F}{2a}$ или $\frac{K}{a}$ = число целое.

Обмотка-симметричная и $Y'k = \frac{K}{a}$.

2) $\frac{K}{a}$ — не дает целого числа.

Обмотка при этом называется «диссиметричной». Коллектор такой обмотки не имеет групп коллекторных пластин одного потенциала; однако, так как смежные пластины упрощенной схемы имеют незначительную разность потенциалов, можно, если не входить в подробности рассмотрения потерь, которые этим обусловливаются, сделать эквипотенциальные соединения, приняв за $\frac{K}{a}$ ближайшее целое значение. При этом различные шаги не будут точно равны (фиг. 49). Такой обмотки следует по возможности избегать. Переход от шага $Y'k$ приведенной схемы к шагу $Yk$ действительной схемы производится двумя способами:



Фиг. 49. Волнообразная диссиметрическая обмотка $K = 38$; $a = 3$.

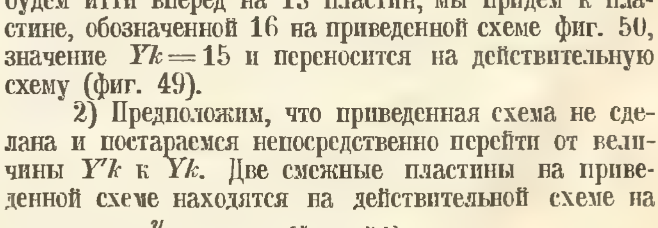
Фиг. 50. Упрощенная схема обмотки по фиг. 49.

1) Рассмотрим на фиг. 50 приведенную схему фиг. 49, для которой:

$$F = 76;\ 2p = 10;\ 2a = 6;\ y = 14;\ K = 38;\ Y'k = \frac{38}{3} = 12^2/_3.$$

Примем для $Y'k$ наиболее близкое значение $12^2/_3 \cong 13$. Исходя из пластины 1, будем итти вперед на 13 пластин; мы придем к пластине, обозначенной 16 на приведенной схеме фиг. 50, значение $Yk = 15$ и переносится на действительную схему (фиг. 49).

2) Предположим, что приведенная схема не сделана и постараемся непосредственно перейти от величины $Y'k$ к $Yk$. Две смежные пластины на приведенной схеме находятся на действительной схеме на расстоянии $\frac{y}{2}$ пластин (фиг. 51).



Фиг. 51.

Если мы идем вперед на $Y'k$ пластин на приведенной схеме, то это соответствует передвижению вперед на $\frac{y}{2}$ $Y'k$ на действительной схеме. Мы можем написать

$$\frac{y}{2}\,Y'k = aK + r.$$

Если мы будем исходить из пластины 1, мы обойдем $d$ раз коллектор, чтобы притти к пластине $1 + r$; $r$ и представляет, таким образом, шаг $Yk$.

Применим вышеуказанное к фиг. 49.

$\frac{y}{2}=7,\ Y'k=13,\ \frac{y}{2}\cdot Y'k=aK+r$ или $7\times 13=2\cdot 38+r;\ r=Yk=15.$

Отложив два раза шаг 15, значение последнего шага составит всего

$$38-2\times 15=8.$$

Примечание. Условие делимости $F$ на $2a$ может быть представлено иначе.

Мы имеем $\frac{y}{2}=\frac{K\pm a}{p}$.

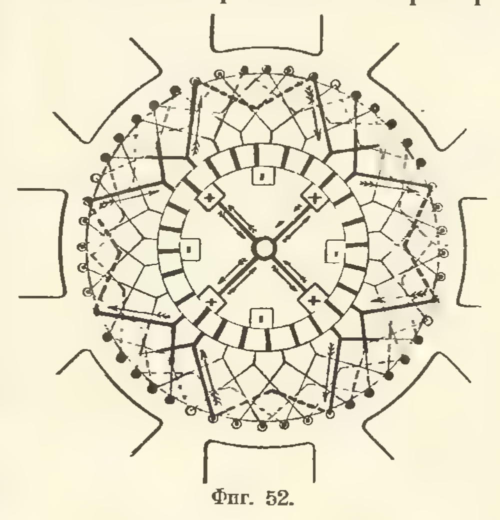
Умножим обе части на $\left(\frac{P}{a}\right)$; получим $\frac{y\cdot P}{2\cdot a}=\frac{K}{a}\pm 1=\frac{F}{2a}\pm 1.$

Так как частное от деления $\frac{F}{2a}$ целое, то $\frac{y\cdot p}{2a}$ должно быть число целое. Так как при простой замкнутой обмотке $\frac{y}{2}$ и $a$ числа первые между собой, [1]) то $\frac{p}{a}$ должно быть число целое.

## ГЛАВА IX.

# Выбор обмотки.

**Преимущества и недостатки различных типов обмоток.** Петлевидная обмотка. При этой системе всякое магнитное неравенство в якоре выражается в разнице электродвигательной силы в отдельных ветвях, что вызывает потерю энергии и нагревание якоря. Эквипотенциальные соединения уничтожают в значительной степени это вредное явление и являются весьма желательными. Обмотки этого типа просты для изучения. Число $F$ пучков может быть любое, если не применяются эквипотенциальные соединения. (В последнем же случае $F$ должно быть кратное $a$). Напряжение между щетками возрастает от пластины к пластине коллектора и, наконец, что имеет особо важное значение, цепь коммутации зависит только от контактов, которые представляют щетки.



Фиг. 52.

Волнообразная обмотка. При этой обмотке в значительной степени

[1]) На самом деле $K=\frac{F}{2}$. Условие же простой замкнутости обмотки требует, как мы уже видели, чтобы $\frac{y}{2}$ и $\frac{F}{2}$ были числа первые между собой, следовательно, и $\frac{y}{2}$ и $K$ будут числа первые между собой.

С другой стороны, $\frac{y}{2}=\frac{K\pm a}{2}$ или $p=\frac{K\pm a}{\frac{y}{2}}$. Так как $p$ — число целое, то $K\pm a$ должно делиться на $\frac{y}{2}$.

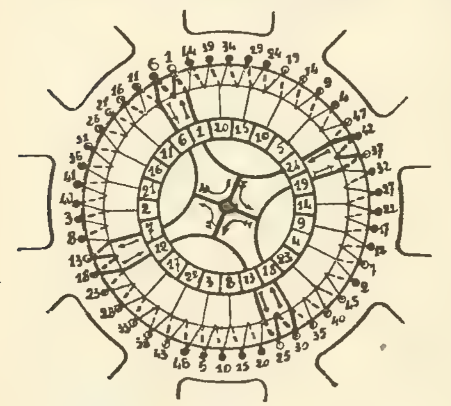
Если делится сумма и одно из слагаемых $a$, то должно делиться и второе $K$, если же оно не делится, то и второе не делится, т.-е. $a$ и $\frac{y}{2}$ — числа первые между собой.

исключаются неприятные явления, вызываемые магнитной диссимметрией, но коммутация значительно менее благоприятная.

Рассмотрим (фиг. 52) якорь восьмиполюсной машины с 8 ветвями обмотки. На фиг. 52 толстыми линиями обозначены секции, которые коротко замыкаются положительными щетками.

Более ясно эти секции видны на фиг. 53, которая представляет приведенную схему вышеуказанной фиг. 52.

Если эти секции занимают в каждый момент короткого замыкания одинаковое положение по отношению к полю, и если охватываемые ими магнитные потоки одинаковы, то мгновенные значения электродвигательной силы и тока будут также одинаковы и они будут компенсироваться соединениями между токоотводящими щетками. Можно усмотреть из фигуры, что коротко замкнутые секции под всеми положительными щетками образуют через щетки одну замкнутую цепь и что эти секции соединены последовательно.



Фиг. 53. Упрощенная схема обмотки по фиг. 52.

Чтобы в этой замкнутой цепи не было выравнивающих токов, необходимо, чтобы в каждый момент сумма индуцируемых электродвигательных сил была равна нулю.

Всякая неправильность коммутации в одной секции отразится в других. С другой же стороны различные ветви обмотки щетками соединяются параллельно и всякое изменение сопротивления контакта поведет к неравному распределению тока между ветвями обмотки, откуда и возможные нарушения коммутации.

Такие изменения сопротивления могут происходить от дрожания якоря и щеток. И в этом случае эквипотенциальные соединения весьма полезны, так как они выравнивают токи, подводимые к щеткам.

Число пучков $F$, а, следовательно, и проводников $N$ не является независимым, и симметрия обмотки, которая всегда желательна, требует, чтобы $\frac{K}{a}$ или $\frac{P}{a}$ было бы целым числом.

С точки зрения практической, волнообразная обмотка является чрезвычайно привлекательной, так как число ветвей обмотки может быть совершенно отличным от числа полюсов; можно использовать то же якорное железо, а иногда и те же коллектора для ряда комбинаций, так, напр:

120 вольт при $2a = 2p = 12$
180 „ „ $2a = 8$ и $2p = 12$ диссимметричная.
360 „ „ $2a = 4$ „ $2p = 12$
720 „ „ $2a = 2$ $2p = 12$.

Это свойство ценно и интересно для изготовления моторов сериями и упрощает необходимые приспособления и оборудования.

**Выбор обмотки.** Такой вопрос имеет место только при многополюсной машине.

Каждый частный случай должен быть предметом основательного изучения в отношении наилучшего использования материала и в особенности в отношении удовлетворительной коммутации.

Главнейшие факторы, которыми следует руководствоваться при выборе обмотки, следующие:

Сила тока в каждой ветви обмотки; максимальная разность потенциалов между двумя смежными коллекторными пластинами; число полюсов машины.

Как общее правило, не следует переходить следующих пределов:

250 амп. на каждую ветвь обмотки для напряж. до 120 вольт,
200 амп. на каждую ветвь обмотки для напряж. свыше 120 вольт.
25 вольт между смежными коллекторными пластинами.

Максимальное напряжение между смежными коллекторными пластинами должно быть кроме того равно при простой обмотке: $\frac{3pU}{k}$, где $U$ напряжение у клемм машины, или $\frac{p}{a} e_{max}$, где $e_{max}$ максимальная электродвигательная сила одной секции (см Е. Арнольд. Динамомашины постоянного тока, т. I, стр. 100).

Шинную обмотку рекомендуется применять при силе тока не менее 80 ампер на каждое направление обмотки.

После этих общих замечаний рассмотрим следующие типы обмоток:

Последовательная обмотка, $2a = 2$ — применяется для машин от 4 до 6-полюсных, при силе тока до 200 ампер на каждую ветвь обмотки. (Если $2p > 6$, то очень скоро приходим к $pe_{max} > 25$ вольт).

В каких случаях последовательная обмотка не применима,—мнения конструкторов по вопросу выбора обмотки разделяются; то одни конструкторы применяют только петлевидную простую или многократно замкнутую обмотку, при чем последняя система применяется при больших силах тока, малой разности потенциалов или очень большой окружной скорости.

Другие конструкторы, напротив, предпочитают волнообразную обмотку, последовательно параллельную, которая позволяет принять число ветвей обмотки от 2 до $2p$; это свойство является весьма ценным для вышерассмотренных случаев, независимо от других преимуществ этих обмоток.

Обмотки последовательно параллельные с $2a = 2p$ применяются при очень больших силах тока, малой разности потенциалов и большой окружной скорости.

На практике обычно все мелкие и средние моторы имеют петлевидную обмотку, кроме некоторых 4-полюсных моторов в 220 и 440 вольт, обматываемых последовательно, и кроме тяговых моторов.

Волнообразная симметричная обмотка является почти исключением; что касается диссиметричной обмотки, то, как мы полагаем, вряд ли имеется много примеров так выполненных обмоток.

**Выбор рода обмотки с конструктивной точки зрения.** Секции для броневой обмотки являются наиболее употребительными. Как монтаж секций, так и их расположение по якорю выполняется наиболее легко, и наконец, якорь, закрепленный бандажами, наилучшим образом противостоит действию центробежной силы.

Прибегают к развернутым обмоткам, если размер машины по оси должен быть возможно малым.

Сводка различных условий, которые следует выполнить для простых замкнутых обмоток.

### Обозначения:

$2p$ — число полюсов;
$2a$ — число ветвей обмотки;
$N$ — общее число проводников;
$S$ — общее число секций;
$F = 2S$ — число пучков;
$K$ — число коллекторных пластин;
$R$ — число пазов якоря;
$y$ — результирующий шаг;
$y_1$ и $y_2$ — составляющие шаги.

Обязательные условия:

1) $2p$, $2a$ $N$ — числа четные; 2) $S$ — кратно числу пазов $R$; 3) $N$ — число кратное $2S$.

Дополнительные условия, которые рекомендуются:

1) Параллельная обмотка:

$\frac{F}{2a}$ — число целое — для применения эквипотенциальных соединений.

2) Последовательно параллельное соединение.

$\frac{F}{2a}$ или $\frac{p}{a}$ — число целое — по указанным выше соображениям.

**Таблица, позволяющая определить шаг.**

| Характер обмотки. | Значение $2a$. | Значение $y$. | Значение для $y_1$ и $y_2$ [1]). | Дополнительные условия. |
|---|---|---|---|---|
| Петлевидная и параллельная . . | $2p$ | $y = y_1 - y_2 = \pm 2$ | $y_1 = \frac{F-b}{2p} \pm 1$; $y_2 = \frac{F-b}{2p} \pm 1$ | $y_1$ и $y_2$ — нечетное, $b$—число целое, произвольное, возможно малое, добавляемое, чтобы разность $F-b$ делилась на $2p$ и давала четное частное. |
| Многополюсная последовательно-параллельная . . | Общий случай $> 2$ | $y = y_1 + y_2 = \frac{F \pm 2a}{p}$ | $y_1$ и $y_2$ нечетные и возможно близкие одна другой величины. | 1) $\frac{y}{2}$ и $\frac{F}{2}$ числа первые между собой, 2) в случае, если $2a > 2p$ проверить, что $y_1$ и $y_2$ больше ширины полюса. |
| | Частный случай $2p$ | $y = y_1 + y_2 = \frac{F}{p} \pm 2$ | | |
| Многополюсная последовательная . | 2 | $y = y_1 + y_2 = \frac{F \pm 2}{p}$ | | |

Многократная обмотка является наложением на одном якоре нескольких простых обмоток. Вышеуказанные правила применяются к каждой из обмоток.

## ГЛАВА X.

## Примеры обмоток.

В примерах, которые мы будем рассматривать, мы предполагаем заданными величины: $2p$, $2a$, $N$, $S$, $K$, $R$, а также и систему обмоток: параллельная или последовательно параллельная.

Мы установим:

1) шаги $y$, $y_1$ и $y_2$; 2) таблицу обмоток; 3) короткое соединение; 4) эквипотенциальные соединения.

Обмотка многократная параллельная $2a = 2p$. Пусть задано:

$$2a = 2p = 4;\ S = K = 22;\ R = 22.$$

Определение шага — формулы:

$$y = y_1 - y_2 = \pm 2;\ y_1 = \frac{F-b}{2p} \pm 1;\ y_2 = \frac{F-b}{2p} - 1.$$

Так как $F = 2S = 44$, то, если принять для $y$ знак $+$, получим:

$$y_1 = \frac{44-b}{4} + 1 \text{ и } y_2 = \frac{44-b}{4} - 1;$$

[1]) $y_1$ шаг, определяющий секцию, т.-е. шаг, по которому строится секция. $y_2$ шаг соединений между секциями, т.-е. шаг монтажа коллектора.

так как 44 делится на 4, то примем $b = 0$ и получим:

$$y_1 = 12 \text{ и } y_2 = 10.$$

Так как эти числа четные, то они не подходят.

Примем $b = 4$, тогда

$$\left.\begin{aligned} y_1 &= \frac{44-4}{4} + 1 = 11; \\ y_2 &= \frac{44-4}{4} - 1 = 9. \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Таблица обмоток. Чтобы составить такую таблицу, перенумеруем, в порядке как они идут. пазы и коллекторные пластины, при чем коллекторная пластина 1 соединяется с пучком 1, расположенным в пазу 1. Далее, чтобы дать точно положение каждого пучка в его пазу, его положение обозначают буквами (фиг. 54).

Фиг. 54.

Таблица (на стр. 36) и касается рассматриваемого случая.

Пучки распределяются по стольким горизонтальным рядам, сколько имеется направлений обмоток, т.-е. четырем в настоящем примере.

Каждый ряд заключает $\frac{44}{4}$ пучков. Если будем рассматривать первое направление обмоток, мы найдем в верхней части пучки в том порядке, в каком они следуют, если мы, исходя из пучка 1, пойдем по обмотке.

Так как шаги равны 11 и 9, то пучки будут в таком порядке,

1, 12, 3, 14, 5, 16...

Во втором пути мы идем обратно пучками 22, 13, 24, 15...

Наконец, из вертикального столбца видно, что пучек 12 лежит в VII пазу, и занимает положение $b$.

Далее видно, что пучек 1 соединяется коллекторной пластиной 1, пучек 5 с коллекторной пластиной 3 и что между коллекторными пластинами 1 и 3 находятся пучки 1, 12, 3 и 14.

Чтение таблицы обмоток. Таблица обмоток позволяет между прочим определить:

1) Электродвигательную силу между двумя какими-либо пучками. Чтобы определить электродвигательную силу, напр., между пучками 14 и 11, достаточно сосчитать по таблице число пучков, которое их разделяет — всего 7 пучков. Если принять, что каждый пучек дает равную электродвигательную силу, равную $e$, то разность потенциалов между пучками 14 и 11 будет равна $7e$.

2) Определить точки обмотки, дающие максимальную разность потенциалов. Такие точки находятся в конце направления обмоток и можно видеть на фигуре, что между пучками, наложенными друг на друга в пазу, эта электродвигательная сила будет максимум.

При расположении соответственно таблице, такая разность потенциалов будет между пучками:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 10 и 11 | 22 и 23 | 32 и 33 | 44 и 1 |
| паз VI | паз XII | паз XVII | паз I. |

3) Состав коммутационной цепи. Расстояние между щетками равно $\frac{K}{2p}$.

Если ширина щеток задана, то легко, задавшись положением одной из них, найти, на каких пластинках коллектора должны находиться остальные щетки. После этого, по таблице легко найти коротко замыкаемую цепь для каждой щетки.

Эта цепь состоит из пучков, заключающихся между коротко замыкаемыми пластинами коллектора.

Если принять, что щетки взяты той же ширины, что и коллекторные пластины, то очевидно, что расстояние между осями щеток будет $\frac{22}{4}=5{,}5$, т.-е. если, напр., щетки (+) находятся на пластинах 1 и 12, щетки (—) будут соответственно находиться на пластинах 6 и 7, 17 и 18.

Щетки + не замыкают накоротко никакой цепи.

Щетки же — замыкают соответственно пучки 11 и 22, 33 и 34.

Эквипотенциальные соединения. Шаг потенциала по коллектору

$$y_k=\frac{K}{a},\ y_k=\frac{22}{2}=11.$$

Пластина 1, напр., соединяется с пластиной 12, которая соединяется с пластиной 23; т.-е. с пластиной 1.

Многократные обмотки последовательно-параллельные. Данные:

$$2p=6;\ 2a=4;\ S=K=17;\ R=17.$$

Определение шага—формулы:

$$y=y_1+y_2=\frac{F\pm 2a}{p};\ F=2S=2\times 17;\ y=\frac{34\pm 4}{3};$$

подходит только знак (—); $y=10$.

Примем $y_1=y_2=5$, эти числа, как нечетные, являются подходящими. Цепь обмотки будет замкнута, $y_2$ или 5 число первое с $\frac{F}{2}$ или 17.

Таблица обмоток. Начертить приведенную схему при значительном числе пучков представляет довольно длительную графическую работу. Очень часто является целесообразным заменять схему таблицей обмоток, которая гораздо скорее может быть получена и позволяет так же хорошо разобрать условия работы якоря.

Как и в предшествующем примере, примем группировку пучков в пазу, как на фиг. 54.

На таблице буквы $a$ и $b$ указывают положение каждого пучка в пазу.

Таблица составлена таким же способом, как в предшествующем примере.

Таким же образом и читается эта таблица.

Исследование короткого замыкания. Как в предшествующем примере, щетки такой же ширины, как и коллекторные пластины, и предположим, что одна из щеток + опирается на одну коллекторную пластину. Легко графически или подсчетом определить положение на коллекторе других щеток. Если мы обратимся к фиг. 41, на которой изображена эта обмотка, то положительными щетками коротко замкнуты пластины: 3, 4, 9, 10, 15; отрицательными щетками—пластины: 1, 6, 7. 12.

Выяснив вышеуказанное, мы из таблицы можем определить, что:

отрицательными щетками коротко замкнуты:

1) между пластинами 1 и 6 пучки 1 и 6;
2) между пластинами 7 и 12 пучки 13 и 18;

положительными щетками коротко замкнуты:

1) между пластинами 4 и 9 пучки 7 и 12;
2) между пластинами 3, 15 и 10 пучки 19, 24, 29 и 34.

Эти данные вполне совпадают с приведенной схемой (фиг. 42).

Состав коротко замыкаемых секций изменяется, как само собою разумеется, с относительным положением коллектора и щеток.

Эквипотенциальные соединения. Частное $\frac{P}{a}=\frac{3}{2}$ или $\frac{F}{2a}=\frac{34}{4}$ — число не целое, обмотка в виду этого не будет симметричной и не будет групп пластин одинакового потенциала. Если все же мы пожелали бы применять эквипотенциальные соединения, мы примем за $y_k'$ (шаг потенциала восходящей обмотки приведенной схемы,

см. стр. 20) целое число, наиболее близкое к $\frac{F}{2a}$, т.-е. 9. Чтобы перейти к действительной схеме применим правило, которое привели на стр. 26, имеем:

$$\frac{y}{2}=5;\ y'_k=9;\ 5\times 9=1\times 34+11.$$

Шаг $y'_k$ на реальной схеме будет равен 11.

Коллекторные пластины соединяются группами, по две: 1 с 12, 2 с 13 и т. д.

# II. ПРАКТИЧЕСКОЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ.

## ГЛАВА XI.

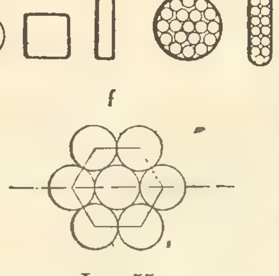
## Проводники и пазы.

Проводники. Единственный металл, который применяется для проводников— это красная отожженная электролитическая медь. До сечений в 10 *мм*², т.-е. до диаметра от 3 до 4 *мм*, применяют круглую медь (фиг. 55а).

При размерах больших, чем вышеуказанные, обмотка только одним проводником затруднительна, так как изоляция может быть повреждена.

В виду этого предпочтительнее применить два параллельных провода или кабель, который позволяет лучше использовать паз; однако, при этом стоимость несколько выше.

При применении круглого кабеля число элементарных проводов в кабеле должно быть последовательно нижеследующее:



Фиг. 55.

1, 7, 19, 37, 61, 91 и т. д., т.-е. возрастающие следующим образом:

$1+6=7;\ 7+2\times 6=19;\ 19+(3\times 6)=37;\ 37+(4\times 6)=61$ и т. д.

Из фиг. 55 видно, что для покрытия одного провода нужно 6 проводов того же диаметра, для покрытия же 6 проводов нужно 12 и т. д., т.-е. добавляя каждый раз по 6 проводов. Что касается диаметра кабеля, то он будет в 1, 3, 5, 7, 9 и т. д. раз более диаметра элементарного провода в соответствии с числом жил кабеля — 1, 7, 19, 37, 61 и т. д.

Для лучшего использования паза можно кабелю придать плоскую форму, изображенную на фиг. 55е.

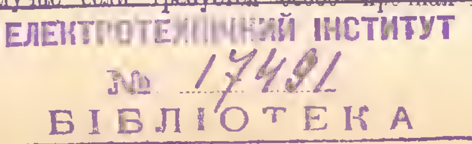
Кабель представляет преимущество также в отношении уменьшения потерь от токов Фуко, так как провода, составляющие кабель, как бы изолированы друг от друга тонким слоем окисла и масляной прослойкой, которая покрывает отдельные провода.

При сечении свыше 20 *мм*² предпочтительнее заменять провода и кабель шинами.

Рекомендуется не применять шин толщиной свыше 3 или 4 *мм*, так как при больших сечениях токи Фука приобретают значительную величину. В виду вышеуказанного вместо одной шины применяют две или три параллельные шины: этим облегчается также и выполнение обмотки. Предпочтительными являются провода квадратного сечения для лучшего использования пазов; но изготовление таких проводов затруднительно, и изоляция в углах легко может быть повреждена.

Изоляция проводников. Наиболее употребительная изоляция проводов и кабелей—двухслойная бумажная обмотка по винту в обратных направлениях. При этом можно принять, что диаметр каждого провода увеличивается от обмотки на 0,4 *мм*. Для изоляции проводов, в случае если требуется особо прочная механи-

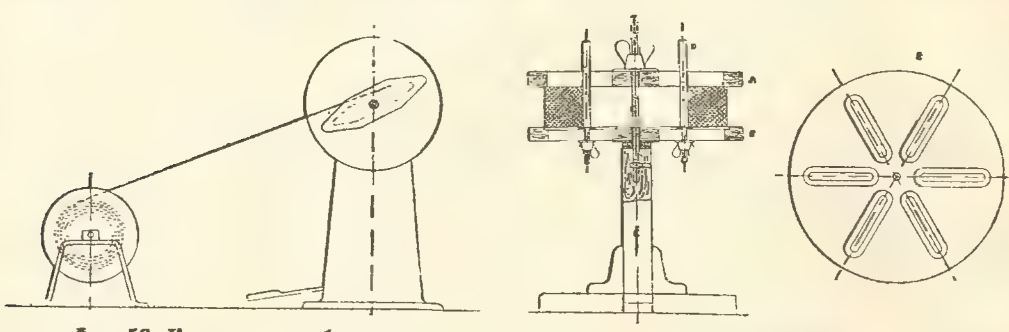




ческая прочность, применяют тройную обмотку ила двойную обмотку и одну оплетку. Шины применяются голые, так как изоляция была бы повреждена от усилий, которым они подвергаются во время работы.

Приняв ту или иную форму, обмотку покрывают вручную или машинным способом одним или несколькими слоями промасленной ленты и специальной бумажной лентой с перекрытием от $^1/_3$ до $^1/_2$.

**Катушки и барабаны для обмотки.** Следует по мере возможности избегать ручной работы с обмоточными проводами, чтобы их случайно не перегнуть и не испортить непрочную изоляцию. В виду этого, провода остаются на барабанах



Фиг. 56. Катушки для обмотки. Фиг. 57. Барабан.

во все время работы по обмотке. Поворачиваются только шаблоны вручную или механически, при чем сцепление шаблона с приводом производится ножкой-педалью (фиг. 56).

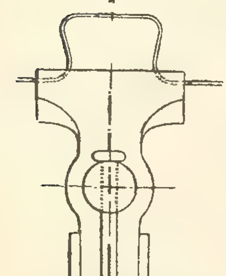
Когда провод получается в бухтах, нужно следить за тем, чтобы не спутались витки, в виду отсутствия опоры. В таком случае применяют размоточное приспособление, изображенное на фиг. 57.

Шесть железных стержней раздвигаются радиально и прижимаются к бухте, которая кроме того прижата сверху и снизу двумя деревянными фланцами.

**Вес голых проводников.** Удельный вес провода составляет около 8,9. Вес в килограммах 1 километра провода, таким образом, получится от умножения сечения провода в *мм*² на 8,9.

$$P \text{ кг/км} = S \text{ мм}^2 \times 8{,}9.$$

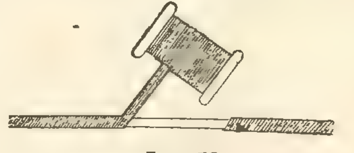
При круглых проводах удобнее подсчитать вес, исходя из диаметра провода Вес 1 *км* провода в килограммах получается от умножения квадрата диаметра провода в миллиметрах на 7.



Фиг. 58.

$$P \text{ кг/км} = d^2 \text{ мм} \times 7.$$

Если имеем дело с кабелем, его сечение будет больше, чем сумма сечений, составляющих его проводов, благодаря наклону отдельных проводов по отношению к оси кабеля, в виду чего коэффициент 8,9 заменяется коэффициентом 9,3.



Фиг. 59.

**Спайка проводов.** Спайка производится в притык веребряным припоем. Провода, подлежащие спайке, нормально срезанные, помещаются с зажим, как указано на фиг. 58.

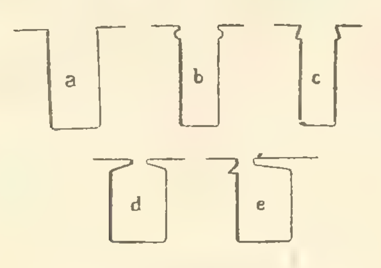
Маленький кусок серебряного припоя кладется на месте стыка и держится упругостью проводов. Место спая смачивается раствором буры, затем место спайки нагревается до плавления припоя.

Исправление повреждения изоляции. Для исправления обмотки пользуются катушкой бумажной пряжи (фиг. 59) или, что дороже, пользуются шелковой ниткой.

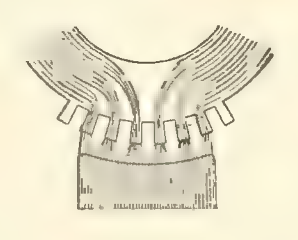
Начинают исправление с первого витка. Что касается конца, то он привязывается ниткой и склеивается лаком с обмоткой.

Формы пазов. Наиболее употребительная форма пазов — открытый тип (фиг. 60 a, b, c) или полуоткрытый (фиг. 60 d и e).

Только открытые пазы могут применяться, если секция заполняет весь паз. Открытые пазы позволяют легко производить изоляцию обмотки, но, с другой стороны, они дают возможность образованию токов Фуко в полюсных башмаках и в проводниках, если зубцы якоря намагничены до насыщения (фиг. 61).




Фиг. 60. Формы пазов.



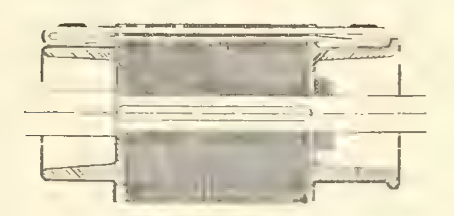
Фиг. 61.

Полуоткрытые пазы позволяют прочно укрепить обмотку и уменьшают токи Фуко в полюсных наконечниках и в проводниках. Такой формы пазы применяют при шинной обмотке, когда верхняя щель достаточна для прохода изолированной шины.

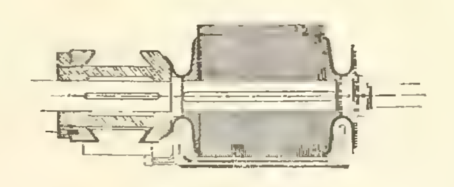
Открытые пазы более распространены, но если окружная скорость больше 25 *м/сек*, то рекомендуется не довольствоваться одними бандажами и применять открытые пазы формы b, c, которые позволяют ставить сверх обмотки клинья из букового дерева.

Изолировка пазов. Современная обмоточная техника переносит главное внимание в отношении изоляции на самые секции, изоляция которых гораздо легче поддается проверке, чем изоляция пазов. Изоляция пазов при этом не зависит от разности потенциалов и может ограничиться изоляцией промасленным полотном в один или два слоя, прессшпаном или U-образными желобками из миканита толщиной около 0,5 *мм*.

Опоры для соединений — броневая обмотка. В большинстве машин соединения опираются на чугунные приливы фланцев, скрепляющие якорное железо. Эти опоры, как само собой разумеется, должны быть изолированы от обмотки.



Фиг. 62. Якорь с броневой обмоткой.



Фиг. 63. Якорь с обмоткой по развертке

На фиг. 62 приведена такая конструкция якоря.

Разверточные соединения. Укрепление таких соединений более затруднительно, что ограничивает область их применения. Фиг. 63 показывает монтаж такой обмотки.

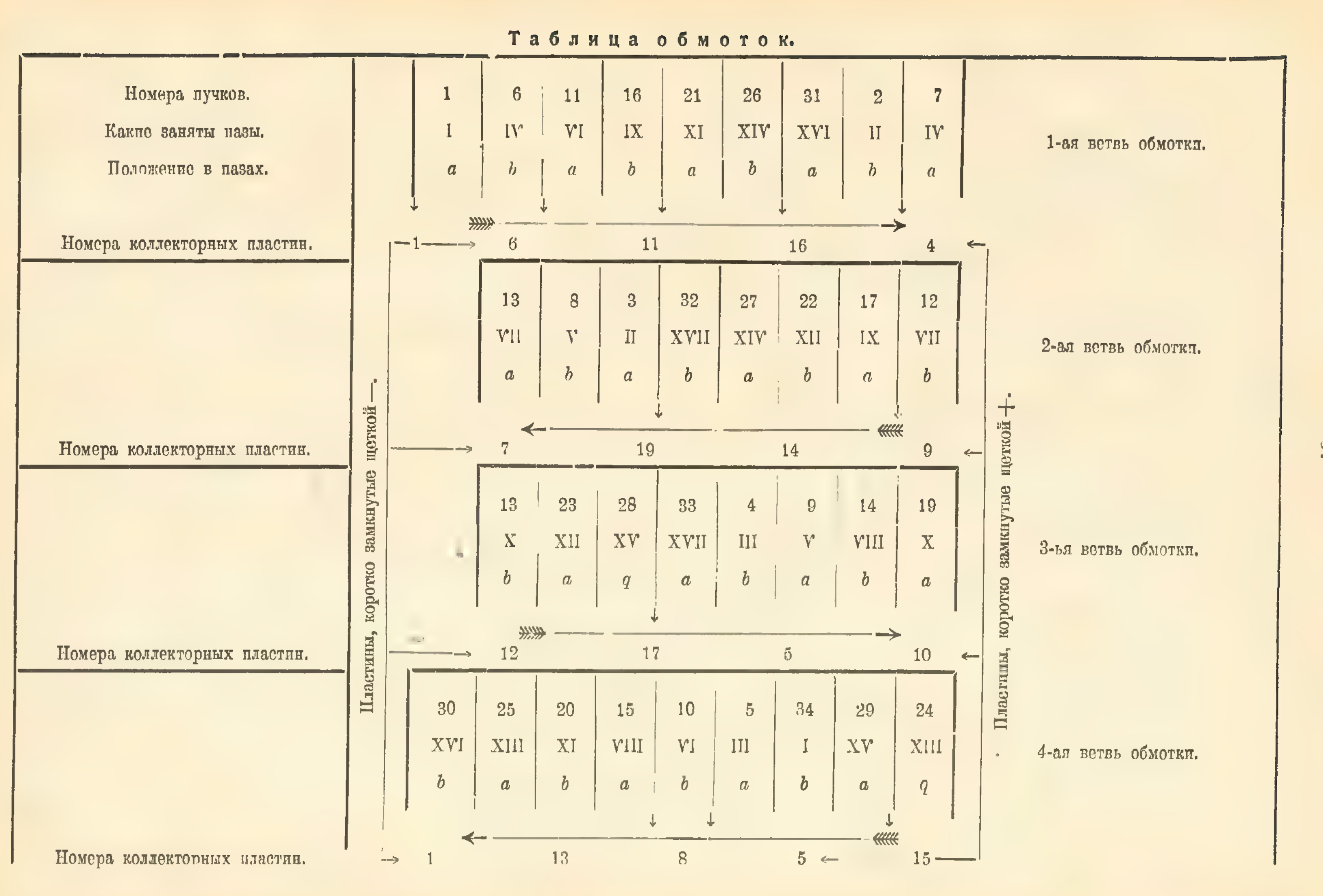
## Таблица обмоток.

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Номера пучков. | 1 | 12 | 3 | 14 | 5 | 16 | 7 | 18 | 9 | 20 | 11 | 1-ая ветвь. |
| Какие заняты пазы. | I | VII | II | VIII | III | IX | IV | X | V | XI | VI | |
| Положение в пазах. | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | |
| Номера коллекторных пластин. | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | |
| | 32 | 21 | 30 | 19 | 28 | 17 | 26 | 15 | 24 | 13 | 22 | 2-ая ветвь. |
| | XVII | XI | XVI | X | XV | IX | XIV | VIII | XIII | VII | XII | |
| | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | |
| Номера коллекторных пластин. | 12 | | 11 | | 10 | | 9 | | 8 | | 7 | |
| | 23 | 34 | 25 | 36 | 27 | 38 | 29 | 40 | 31 | 42 | 34 | 3-ья ветвь. |
| | XII | XVIII | XIII | XIX | XIV | XX | XV | XXI | XVI | XXII | XVII | |
| | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | |
| Номера коллекторных пластин. | 12 | | 13 | | 14 | | 15 | | 16 | | 17 | |
| | 10 | 43 | 8 | 41 | 6 | 39 | 4 | 37 | 2 | 35 | 44 | 4-ая ветвь. |
| | VI | XXII | V | XXI | IV | XX | III | XIX | II | XVIII | I | |
| | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | *q* | *a* | *b* | |
| Номера коллекторных пластин. | 1 | | 22 | | 21 | | 20 | | 19 | | 18 | |

Пластины, коротко замыкаемые положительными щетками.

Пластины, коротко замыкаемые отрицательными щетками.

## Таблица обмоток.



| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Номера пучков. | 1 | 6 | 11 | 16 | 21 | 26 | 31 | 2 | 7 | 1-ая ветвь обмотки. |
| Какие заняты пазы. | I | IV | VI | IX | XI | XIV | XVI | II | IV | |
| Положение в пазах. | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | |
| Номера коллекторных пластин. | 1 | 6 | | 11 | | | 16 | | 4 | |
| | | 13 | 8 | 3 | 32 | 27 | 22 | 17 | 12 | 2-ая ветвь обмотки. |
| | | VII | V | II | XVII | XIV | XII | IX | VII | |
| | | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | |
| Номера коллекторных пластин. | | 7 | | 19 | | | 14 | | 9 | |
| | | 13 | 23 | 28 | 33 | 4 | 9 | 14 | 19 | 3-ья ветвь обмотки. |
| | | X | XII | XV | XVII | III | V | VIII | X | |
| | | *b* | *a* | *q* | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | |
| Номера коллекторных пластин. | | 12 | | 17 | | | 5 | | 10 | |
| | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5 | 34 | 29 | 24 | 4-ая ветвь обмотки. |
| | XVI | XIII | XI | VIII | VI | III | I | XV | XIII | |
| | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | *b* | *a* | *q* | |
| Номера коллекторных пластин. | 1 | | 13 | | 8 | | 5 | | 15 | |

Пластины, коротко замкнутые щеткой —.

Пластины, коротко замкнутые щеткой +.

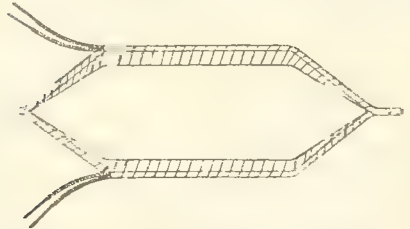
## ГЛАВА XII.

## Обмотки и эскизы обмоток.

**Катушки.** Обмотка якоря производится проводом, кабелем или шинами.

Обмотка проводом или кабелем. Изоляция проводов или кабелей, которые применяются для изготовления якорей, обычно производится двойной бумажной обмоткой, которая наматывается по противоположным направлениям.

Изоляция, достаточная для изолировки проводов между собой, недостаточна для изоляции секций от остова; кроме того непрочность изоляции делала бы крайне затруднительным монтаж обмотки. В виду вышесказанного, изоляция секции усиливается тем, что секция обматывается спирально в один или несколько слоев лентой. Вместо того, чтобы обматывать лентой каждую секцию отдельно, что сильно бы уменьшило возможность использования паза, одной лентой обматываются все секции, которые расположены в одном и том же пазу [1]).



Фиг. 64. Катушка броневой обмотки.

Таким образом, образуется так называемая катушка (фиг. 64).

Катушки или бобины содержат одну или несколько секций. Число бобин всегда равно числу пазов. Бобины можно изготовить:

1) обматывая отдельные секции, затем их соединяя под общей обмоткой.

2) обматывая сразу все секции

Шинная обмотка. Оплетка бумагой не могла бы противостоять усилиям, которым подвергаются шины при их сгибании для образования секций, потому шины оставляются голыми, секции же покрываются в один или несколько слоев лентой.

Новая общая обмотка для полученных катушек не требуется и каждая секция ставится на место в изолированном пазу независимо.

**Броневая обмотка.** Фиг. 65 пример, как установить размеры катушки, если заданы следующие величины:

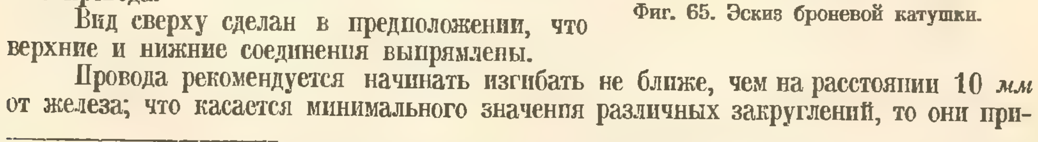
1) диаметр и длина якоря,
2) число и размеры пазов,
3) число проводников и их расположение в пазу,
4) размеры проводников и их изоляция,
5) число пучков в пазу,
6) шаг обмотки.

Неизвестными остаются только:

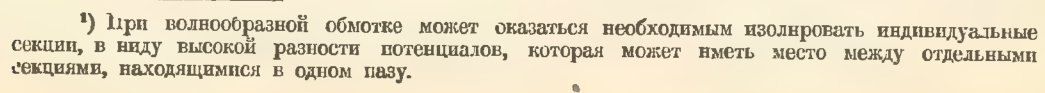
1) радиус кривизны для проводов,
2) угол, под которым отходят соединительные провода.

Фиг. 65. Эскиз броневой катушки.

Вид сверху сделан в предположении, что верхние и нижние соединения выпрямлены.



Провода рекомендуется начинать изгибать не ближе, чем на расстоянии 10 *мм* от железа; что касается минимального значения различных закруглений, то они при-



[1]) При волнообразной обмотке может оказаться необходимым изолировать индивидуальные секции, в виду высокой разности потенциалов, которая может иметь место между отдельными секциями, находящимися в одном пазу.

ведены на чертеже; для проводов от 3 до 4 *мм* эти размеры рекомендуется увеличивать. Для облегчения монтажа нужно принять в расчет зазор в 0,75 *мм* между соседними катушками.

После вышесказанных замечаний, нетрудно определить угол $\alpha$.

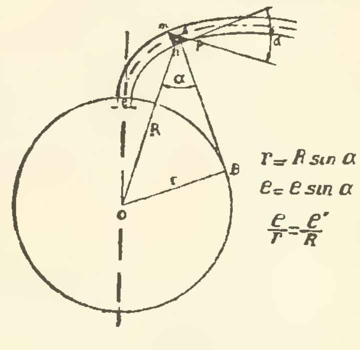
Расчет должен быть выполнен для нижних соединений, которые труднее изготовить.

Для тождественности катушек требуется, чтобы $PQ = mn$, где величина $mn$ представляет шаг зубцов у их основания, т.-е. является величиной известной.

Из прямоугольного же треугольника $PQR$ имеем: $PR = PQ \sin \alpha$.

$PR = (e + 0{,}75)$ и $PQ = mn$; откуда $(e + 0{,}75) = mn \sin \alpha$

$$\sin \alpha = \frac{e + 0{,}75}{mn},$$ откуда определяется $\alpha$.




Фиг. 66.

**Разверточные обмотки.** Что вызывает применение разверточной обмотки?

Кривизна обмотки должна быть так выбрана, чтобы соединения, укладываясь на окружности радиуса $r$, могли быть расположены по окружности $R > r$ (фиг. 66).

По свойству же развертки прямая $mn$ и $AB$ почти параллельны, а прямые $nP$ и $AB$ почти перпендикулярны, и потому треугольники $mnP$ и $AOB$ можно рассматривать, как подобные, откуда имеем зависимость:

$$\frac{mn}{OB} = \frac{mP}{OA}.$$

Называя $e'$, наклонное сечение $mP$, мы имеем

$$\frac{e}{r} = \frac{e'}{R}; \quad \frac{e}{e_1} = \frac{r}{R}.$$

Таким образом, увеличение сечения пропорционально увеличению радиуса.

Эскиз катушки. На основании тех же данных, как и для броневой обмотки, на фиг. 67 представлена катушка разверточной обмотки.

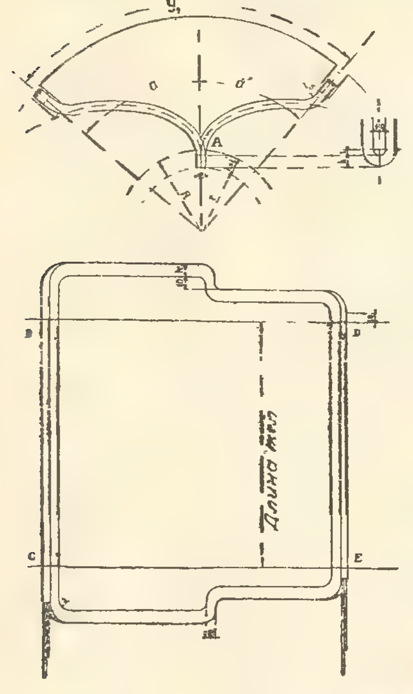
Радиус $r$ определяется из заданной толщины $e$ и числа подлежащих прокладке катушек по следующему уравнению:

$$2 \pi r = n \ (e + 0{,}5).$$

Круг, по которому происходит разворачивание, имеет радиус $R$, определяемый уравнением

$$R = r + h + i,$$

где $h$ высота катушки и $i$ радиус кривизны между двумя соединениями.

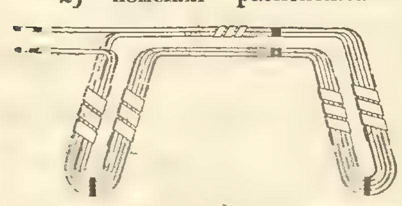



Фиг. 67. Эскиз разверточной катушки.

Для того, чтобы можно было осуществить такую обмотку, надо, чтобы развертка, проведенная из точки, напр., $A$, проходила бы ниже двух пазов, в которых находятся провода, подлежащие соединению. Если развертка проходит слишком низко под пазами, то увеличивают, насколько это считают нужным, радиус $R$ до тех пор, пока длина этих соединений будет наименьшая. Можно, однако, обойти затруднения от недостатка места следующим образом:

1) применяя обмотку, как на фиг. 68, среднюю между боченковидной и броневой обмоткой;

2) изменяя расположение проводов в соединениях, как это и указано на схеме фиг. 68, где 4 провода сгруппированы квадратом в пазу и один над другим вне паза;



Фиг. 68. Разверточная катушка.

3) укорачивая шаг, если такое укорачивание возможно;

4) изгибая провода в двух направлениях, но последнее вредно отзывается на изоляции.

## ГЛАВА XIII.

## Шаблоны.

Рассмотрим последовательно типы шаблонов для обмоток проводом, кабелем и для шинной обмотки.

Для каждой категории обмоток будем различать броневую и разверточную обмотки.

**Броневая обмотка проводом или кабелем.** Броневые обмотки могут быть получены:

1) Шаблоном одной формы, т.-е. шаблоном, которым получается окончательная форма катушки одной операцией.

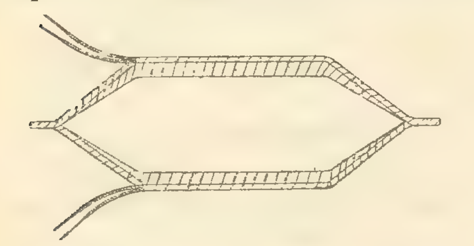
2) Шаблонами, последовательно изменяющими форму катушки.

Последний тип, хотя и напрягает изоляцию, однако, является наиболее часто применяемым на практике.

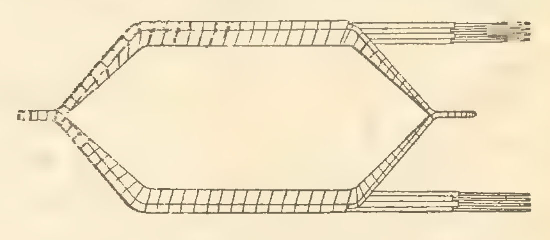
Какой бы ни применялся шаблон, форма катушки должна так измениться, чтобы она могла при монтаже уложиться в пазы, оси которых расположены радиально.

Хороший шаблон должен быть прочен, позволять быстро сделать секцию и снимать ее с шаблона, при этом не портить изоляции.

До перехода к детальному рассмотрению каждого из типов катушек отметим, что, в зависимости от принятой группировки пучков секций в пазах якоря, вывод проводов из секций находится снизу, сверху или сбоку. Фиг. 69 с выводами сверху



Фиг. 69. Броневая катушка (выводы сверху).



Фиг. 70. Броневая катушка (выводы сбоку).

соответствует группировке по фиг. 23, в то время как фиг. 70 с боковыми выводами соответствует группировке согласно фиг. 24. Как нами уже было указано (см. стр. 11), первый способ с электрической точки зрения более рационален и он на практике также чаще всего и встречается.

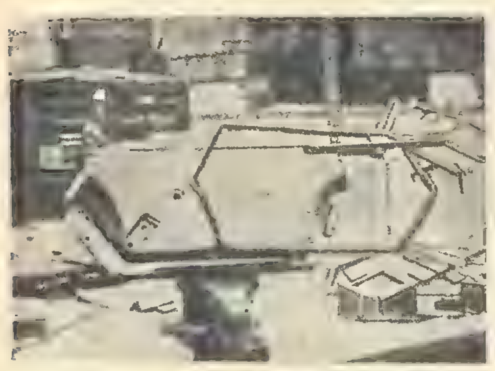
Это замечание относится и к разверточным катушкам.

Ш а б л о н  д л я  п р и д а н и я  о к о н ч а т е л ь н о й  ф о р м ы. Фиг. 71 представляется шаблон, применяемый заводами Томсон-Густон, а также катушку, изготовленную этим шаблоном.

Линейка с ползуном (видны справа фиг. 71) позволяет прижимать концы во время обмотки. Другой тип шаблона для окончательной формы представлен на фиг. 72. Он состоит из двух железных пластин *D* и *E*, которые соответственно и несут направляющие выступы *N*, *H*, *I* и *M*, *L*, *K*.

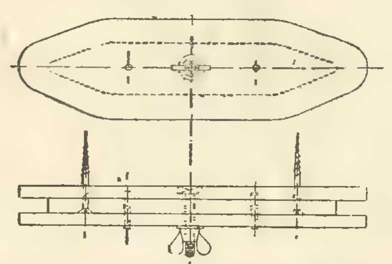
Эти две пластины скреплены во время обмотки двумя винтами *F*. Желобок *R* позволяет укрепить концы проводов в начале работы. Весь шаблон может поворачиваться от железной оси *B*, закрепляемой шпилькой *C*, проходящей через отверстия в *B*.

Две другие дыры, расположенные под углом в 90°, позволяют при помощи шпильки *C* установить шаблон в 4-х положениях, смещенных под углом в 90°.

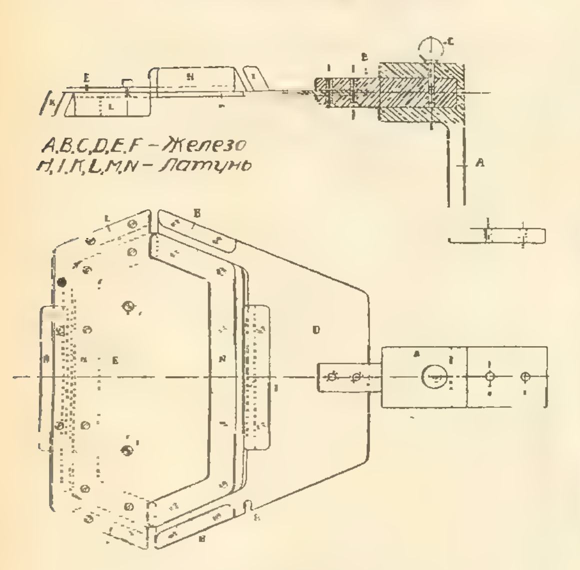



Фиг. 71 Шаблон для придания окончательной формы (завод Томсон-Густон).

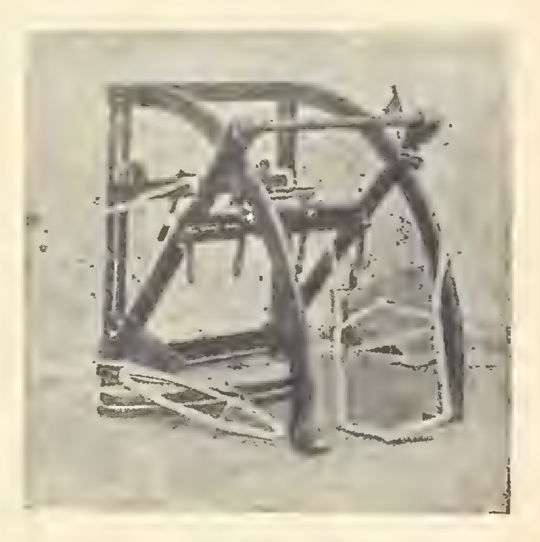
Фиг. 73. Катушка броневой обмотки.



Фиг. 74. Шаблон для катушек ладьевидного очертания.




Фиг. 72. Шаблон для придания окончательной формы.



Фиг. 75. Шаблон для растягивания катушек в форме лодочки (завод Томсон Густон)

Чтобы снять катушку, достаточно отвинтить винты *F* и сдвинуть влево часть *E*. Этот шаблон с успехом может монтироваться на станок со сцеплением при помощи педали.

Ш а б л о н ы, п о с л е д о в а т е л ь н о  и з м е н я ю щ и е  ф о р м у. Если сплющить катушку броневой обмотки так, чтобы ее две боковые стороны были наложены друг

на друга, то получается ладьевидная форма (фиг. 73). Отсюда и проистекает способ изготовления:

1) Сделать плоскую форму в виде лодочки с данным числом витков.

2) Придать этой форме желаемое очертание.

Эта двойная операция может производиться:

1) На двух различных шаблонах.

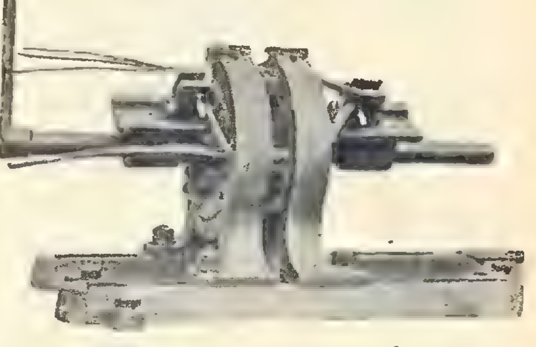
Легко проследить за этой двойной операцией, если рассмотреть фиг. 74 и 75, которые изображают метод Томсона Густона.

Изображенные на фиг. 74 два винта служат для прикрепления шаблона к станку для намотки.

Другой способ для растягивания катушки в форме лодки весьма оригинальный и изображен на фигурах 76 и 77. Применяется этот способ заводами Эрликона.



Фиг. 76. Шаблон для растягивания катушек в форме лодочки (завод Эрликон) 1-е положение.



Фиг. 77 Шаблон для растягивания катушек в форме лодочки 2-е положение.

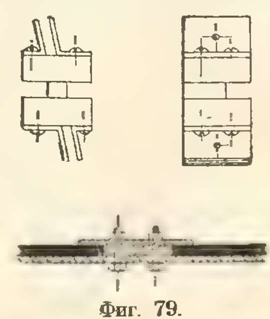
Он может в известных пределах считаться универсальным, так как позволяет изменять активную длину обмотки и угол раскрытия секции.

2) На одном шаблоне. Фиг. 78 представляет пример аппарата такого рода, фиг. же 79 представляет некоторые детали.

На фиг. 78 ($a$) пунктиром изображена катушка, которая получается на этом шаблоне; при монтаже катушке придается обмотчиком окончательная форма, которая изображена на фиг. 78($a$) сплошными линиями.

Шаблон состоит из железной пластины, вращающейся на двух цапфах $T$ около оси симметрии $xy$.

Фиг. 78. Шаблон для последовательного изменения очертания для бронсвых катушек.



Фиг. 79.

Четыре больших паза $R$ и $R_1$ позволяют перемещаться ползушкам $A$ и $B$. Ползуны $A$ могут закрепляться в крайнем положении шпильками $G$.

При крайнем положении ползунов $A$, ползуны $B$ подходят к средней линии. Шаблон в это время может служить для намотки ладьевидной катушки. Операции производятся в следующем порядке:

1) Подвести клинья $C$ так, чтобы они прижимали провода.

2) Вынуть шпильки $G$.

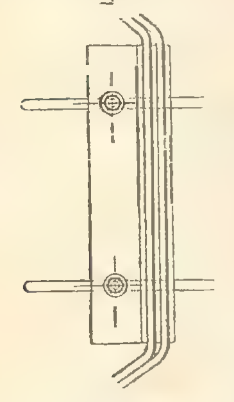
3) Отодвинуть ползун $B$ до крайнего положения, или до соответственно поставленного упора (положение чертежа).

4) Перевязать провода в одном или нескольких пунктах бичевкой или небольшими отрезками оловянной ленты.

5) Привернуть клинья $C$.

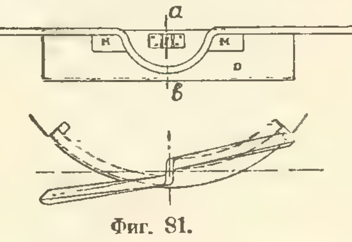
6) Перемещать по прорезу $R_1$ ползун $A$.

7) Освободить провода от ползуна $B$ и вынуть катушку из изгибов $A$. Глубина пазов должна быть так рассчитана, чтобы можно было вынуть катушку. Если катушка с боковыми выводами, то можно пользоваться тем же прибором, но для того, чтобы можно было производить обмотку, надо пазы разделить на столько частей перекладинами, сколько каждая секция заключает витков, таким образом, чтобы на своем месте находились вертикальные кромки.



Фиг. 80

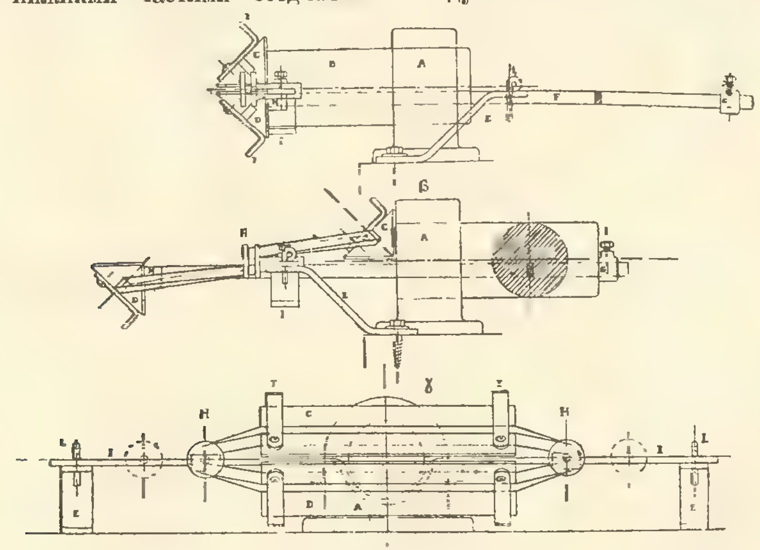
Фиг. 80 представляет ползушку с перегородками, выполненную при помощи угольников из тонкого железа.




Фиг. 81.

Если в виду жесткости не представляется возможным производить раздвижение ползушек от руки, применяют систему гайки и винта.

Шаблон Арнольда. При якорях малого диаметра разница в длине между верхними и нижними частями соединений между обмотками бывает весьма значительна, и желательно, чтобы шаблон придавал им желательный уклон (катушка нарисованная сплошными линиями, на фигуре 81 внизу).




Фиг. 82. Шаблон Арнольда.

Для этой цели служит приспособление, предложенное Арнольдом. Его шаблон состоит из чугунного основания $A$, внутри которого может вращаться чугунный цилиндр $B$, к левой стороне этого цилиндра прикреплена деталь $C$ из дерева, снабженная канавкой. Деталь $D$, тождественная с $C$, опирается на железную полосу $F$, которая может перемещаться по прорезу в $B$.

Две детали $H$, снабженные ребордами, могут двигаться вдоль железной полосы $I$, опирающейся на скобы $E$ (вид $\gamma$), на которых она может закрепляться двумя шплинтами $L$.

Эти скобы $E$ могут поворачиваться около оси (фиг. 81 $a$).

В положении фиг. $a$ полоса $I$ поддерживается двумя кусками дерева $M$, прикрепленными к $D$ (см. фиг. 81 $a$, вид справа детали $D$).

Для обмотки нужно произвести следующие операции:

1) Приводят различные части в положении $a$ фиг. 82, кроме стержней $T$, которые должны оставлять свободными прорезы. Расстояние частей $H$ по шине $I$ должно соответствовать длине подлежащей получению лодочновидной катушки.

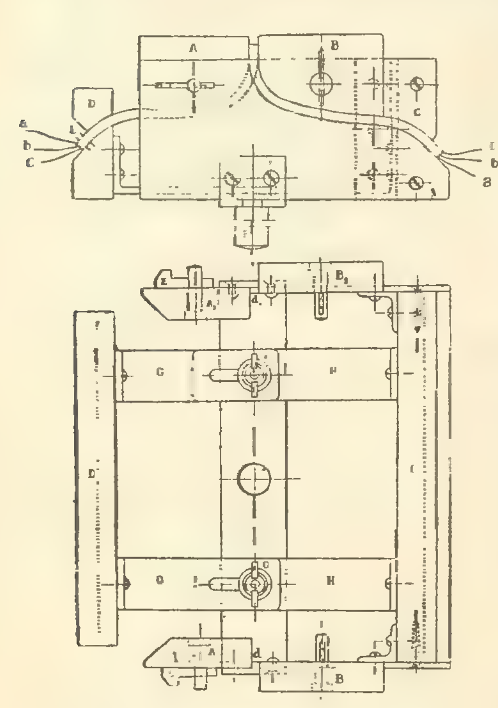
2) Вложить края проволоки в канавку $C$, затем, взявшись рукой за полосу $I$, поворачивают все вместе внутри $A$, пропуская провода через закраины части $H$, пока не получим требуемое число витков. Отрезать затем провод.

3) Повернуть скобы $E$ вперед, вставить шпильки, повернуть стержни так, чтобы провода были в канавке.

4) Раздвинуть катушку, отодвигая $C$ до контакта с $A$, в то время как $D$ оттягивается вперед до упора $G$, который соответственным образом регулируется для останова.

5) Скрепить провода в нескольких пунктах.

6) Вынуть катушку, повернув упоры $T$ и приближая $H$ к середине.



Фиг. 83. Шаблон для получения окончательной формы для разверточных катушек.

**Обмотка по разверточной проводом или кабелем.** 1) Шаблон служит для получения окончательной формы. Прототипом такого шаблона является шаблон Эйкмеера. Вариант такого шаблона представлен на фиг. 83.

Обмотанная катушка, как видно из чертежа, состоит из 3-х секций ($aa'$, $bb'$ и $cc'$).

Обмотка производится следующим образом:

Начинают тремя проводами $abc$, которые пропускают под $A$, и все три провода подводятся к стенке $d_1$.

Проводят все три провода плашмя поверх стенки $d_1$, затем вновь снизу по стенке $B_1$, затем по желобку части $C$, затем под $B$ к стенке $d$ поворачивают плашмя в $d$, пропускают под $A$ у стенки, чтобы проложить через вторую канавку части $D$ и т. д.

Перед тем, как вынуть катушку, следует скрепить ее в нескольких точках. Чтобы вынуть катушку, нужно освободить барашковые гайки $O$ и снять части $A$, $A_1$ и $B$, $B_1$, сняв шпонки $E$.

Вывести провода со стороны $abc$, отодвинув часть $D$ настолько, чтобы провода могли пройти сверху.

Другой тип шаблона для получения окончательной формы катушки приведен на фиг. 84. С боку изображены несколько секций, изготовленных этим шаблоном. Этот шаблон применяется заводом Томсона Густона. Шаблон дает разверточные катушки, имеющие две неодинаковые ветви (наиболее длинная та, которая видна на первом плане).


Фиг. 84. Шаблон для получения окончательной формы для разверточных катушек (завод Томсон-Густон).

Изогнутые две детали с пружинами (слева фиг.) служат, чтобы поддерживать провода во время работы.

2) Шаблоны для последовательного изменения формы. Если сплющить разверточную катушку так, чтобы две стороны накладывались друг на друга, получим форму, изображенную на фиг. 85.

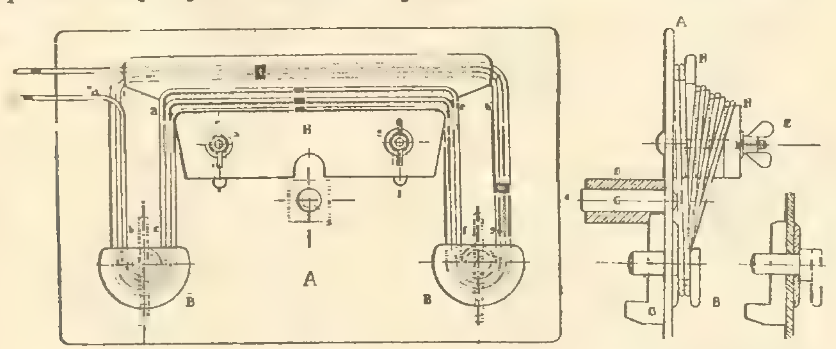
Чтобы получить первичную форму, можно пользоваться шаблоном, изображенным на фиг. 86. Шаблон этот поворачивается около оси *C*.

Фиг. 85. Развергочная катушка (обе стороны совмещены)

Следует иметь в виду то важное обстоятельство, что, с какого конца мы ни начинаем мотать с *a* или *b*,— всегда надо начинать в первую очередь с наружных проводов. Этим определяются — три ступени шаблона.

Чтобы произвести намотку катушки, следует:

Исходя из *a*, пройти ролик *B*, затем по выступу *de*, затем по второму ролику *B* затем идти по желобку *hi* и так пройти требуемое число витков. Затем скрепить катушку в нескольких пунктах.



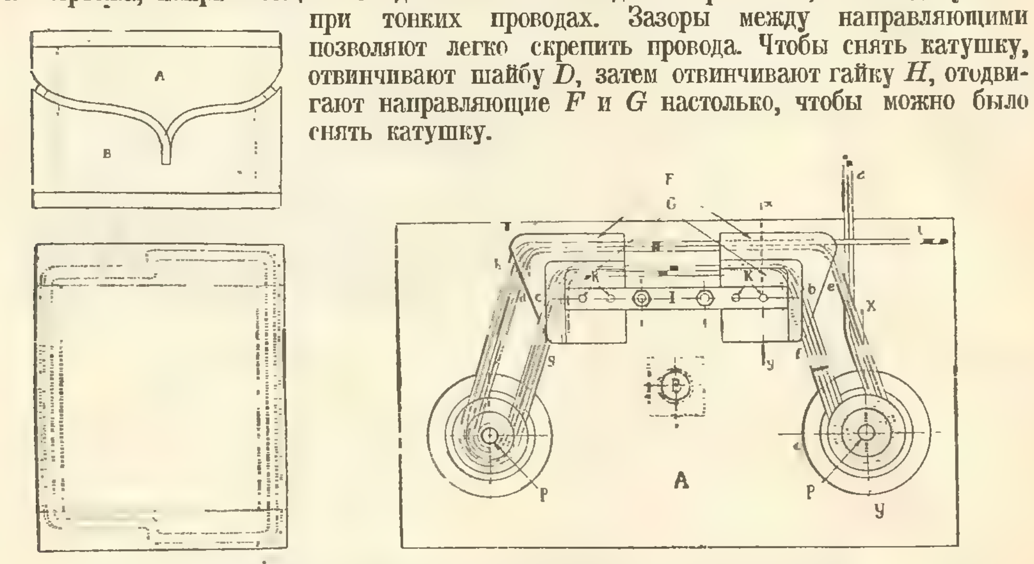
Фиг. 86. Шаблон для разверточных секций.

Чтобы вынуть катушку, надо вынуть сперва шпонки *G*, затем вынуть ролики *B*, отвернуть барашки *E* и отдвинуть часть *H*, пока катушка не освободится.

По вынутии из шаблона, провода, которые лежали на выступах, лягут друг на друга, когда они будут находиться в одной плоскости. Для второй операции пользуются формой, как, например, изображенной на фиг. 87—88.

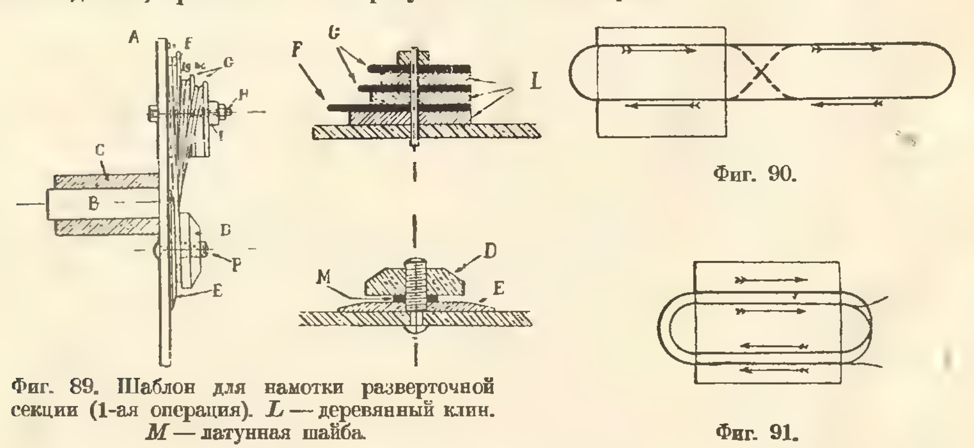
Иногда необходимо, чтобы уложить все внешние провода, изменить в соединениях группировку проводов. Для этой цели соединения располагаются не по двум нормальным к оси плоскостям, а по двум коническим поверхностям.

Фиг. 89 представляет шаблон для намотки такой катушки. Как можно заметить из чертежа, направляющие находятся не по всей длине проволоки, — что допустимо при тонких проводах. Зазоры между направляющими позволяют легко скрепить провода. Чтобы снять катушку, отвинчивают шайбу $D$, затем отвинчивают гайку $H$, отодвигают направляющие $F$ и $G$ настолько, чтобы можно было снять катушку.



Фиг. 87 - 88. Шаблон для разверточной секции (2-ая операция).

Если проволока тонка, а катушка содержит 2 — 3 секции, то катушка может быть обмотана сразу. Но при жестком проводе работа становится трудной, и изоляция легко может быть повреждена, в виду чего предпочтительным является отдельно изготовить каждую секцию и обматывать их лентой после того, как они уже растянуты по шаблону. Заканчивая этот обзор, отметим специальное приспособление, которое применяется американцами для мелких моторов. Катушка делается по шаблону двойной длины, сравнительно с требуемой длиной катушки.



Фиг. 89. Шаблон для намотки разверточной секции (1-ая операция). $L$ — деревянный клин. $M$ — латунная шайба.

Фиг. 90.

Фиг. 91.

При укладке вручную производится перекрест, указанный пунктиром на фиг. 90, затем вторая часть несколько сдвигается, чтобы ее поместить в следующей канавке, и получается расположение согласно фиг. 91.

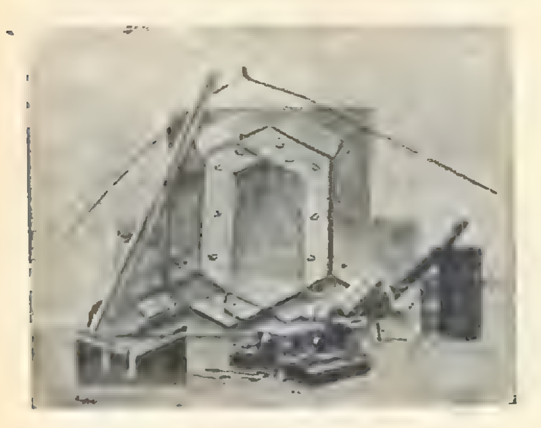
Такое расположение применяется только при тонких проводах и позволяет уменьшить наполовину потребное число катушек, подлежащих изготовлению.

**Шинная обмотка.** Шинная обмотка в последние годы получила очень широкое распространение, так как обмотка при этом получается механически более проч-

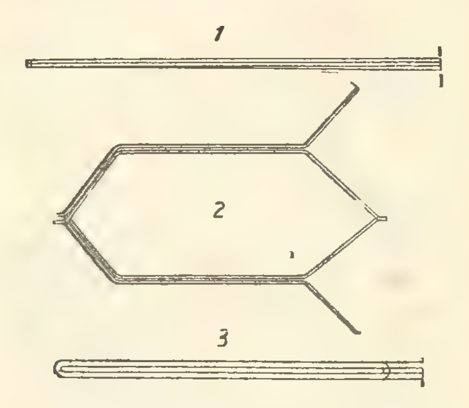
ной и солидной, чем обмотка проводом или кабелем. Выполнение шинной обмотки значительно легче, пазы могут быть более простого очертания; пазы при этом полностью используются, и сгоревшая или попорченная секция может быть без особых затруднений заменена новой. Во всех случаях, когда такая обмотка может быть применена, она должна быть рекомендована.

**Броневая шинная обмотка.** Броневая шинная обмотка в сравнении с лобовыми обмотками представляет ряд преимуществ, и она потому получила широкое распространение, кроме только случаев, когда осевые размеры чрезвычайно ограничены. При шинной обмотке не требуется особых соединителей, обмотка закрепляется бандажами, наконец, число спаек обычно невелико. Способ выполнения внешних соединений зависит от сечения коллекторных пластин. При малых сечениях можно виток образовать одной длинной шиной. В противном случае, виток образуется спайкой или соединением ряда шин. Спайка производится оловом; концы, подлежащие спайке, должны быть заранее облужены, чтобы олово пристало к шине, как только нагреешь ее концы паяльником.

**Витки из цельных шин.** Фиг. 92 представляет ясно метод, применяемый заводами Томсон-Густон для сгибания шин. Справа на фотографии виден рычаг.



Фиг 92. Шаблон для шинной броневой обмотки.




Фиг. 93. Секция броневой обмотки из одной шины.

который служит, чтобы придать шине *u*-образную форму. Для ускорения работы одновременно сгибается несколько шин. Стержни *u*-образно согнутые до требуемого угла, разгибаются *V*-образным железным приспособлением, которое видно на фигуре. Чтобы придать виткам окончательную форму, их сгибают на деревянном шаблоне, который и виден на заднем плане фотографии. Секции, изображенные на фотографии, относятся к волнообразной обмотке.

Распространяя применение этого метода, можно получить несколько витков от одной шины, согнув ее в первую очередь в виде лодочки, фиг. 93 (1 и 3), а затем растянув ее (фиг. 93—2).

Винтовую кривизну соединений получают, ударяя деревяным молотком по металлическому шаблону, имеющему ту же кривизну, как и поверхность, на которой шаблон будет поставлен. Иногда эта кривизна делается при монтаже на месте.

**Витки, состоящие из нескольких частей.** При шинах большого сечения вышеуказанные методы не применяются. Виток составляется из двух частей, соединяемых в *e* при помощи медного зажима (капсюли),—соединение затем пропаивается. Маленькое отверстие, просверленное в верхней части зажима, служит для более легкого прохода олова. Такие зажимы легко получаются, если сплющить трубку соответственного диаметра. Зажим должен надеваться с некоторым усилием, чтобы обеспечивался плотный контакт и хорошая спайка.

Фотография 96 изображает обматываемый якорь, витки которого образованы по вышеуказанному способу.

Можно ограничиться и изгибом шины только в одном месте, как это указано на фиг. 97.

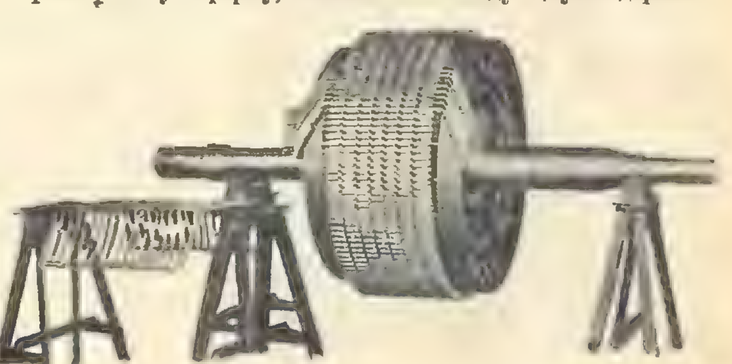
Такое расположение представляет значительное преимущество при полузакрытых пазах, когда невозможно сверху ввести изолированные шины. При этом расположении не нужно изгибать шины и на месте при монтаже, как это требуется при обычных конструкциях.

Недостаток этого расположения—значительное увеличение наружных размеров, потребных для соединения обмотки.

**Шинная лобовая обмотка.** Виток из одной цельной полосы. Шина режется на куски определенной длины, затем рычагом *и*-образно сгибается, как указано на фиг. 92, затем на шаблоне обмотке придается требуемая форма (фиг. 98—100).

Обе ветви шины затем разгибают, придавая им развёрточную форму, сжимая их между двумя деревянными ящичными формами, как это указывалось на стр. 45. Обмотка по фиг. 98—100 применяется, когда соединения происходят в нижней части якоря со стороны коллектора.

Фиг. 94—95. Виток броневой обмотки, состоящий из нескольких шин.



Фиг. 96. Якорь с броневой обмоткой в стадии сборки.

Витки, состоящие из нескольких частей. Такие обмотки могут быть чрезвычайно разнообразны. Можно, с противоположной коллектору стороны, устроить второй коллектор, который назы-

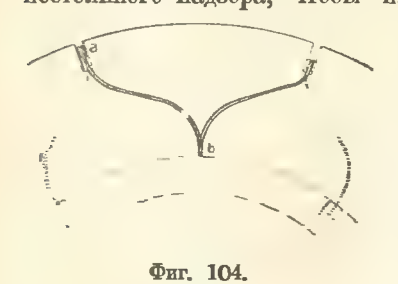


Фиг. 97. Фиг. 98. Фиг. 99. Фиг. 100.

Фиг. 101. Фиг. 102. Фиг. 103.

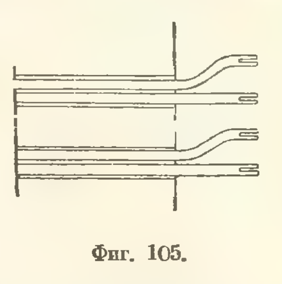
вается «соединительным», в котором соединяются противоположные концы витков (фиг. 101—102).

Такое устройство — более дорогое, имеет большое количество спаек и требует постоянного надзора, чтобы пыль, попадая между шинами, не нарушила изоляцию между секциями. Вместо соединительного коллектора может быть применена, напр., конструкция, изображенная, на фиг. 103—104.



Фиг. 104.

Если в пазу более двух шин, можно пустить левую шину без изгиба, все же остальные согнуть так, чтобы спаи находились на одном и том же расстоянии друг от друга, что облегчает работу и уменьшает возможность соединения между шинами (фиг. 105).



Фиг. 105.

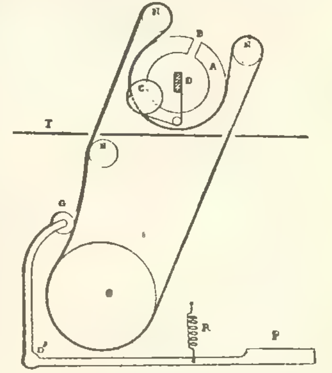
## ГЛАВА XIV.

## Работы по окончательной отделке секций и изоляции выводных концов.

**Придание катушке окончательной формы.** Катушки или секции, служащие для образования катушек, после их изготовления обматываются лентой. В случае тонких проводов, чтобы придать жесткость всей катушке и чтобы разделить отдельные катушки друг от друга, применяют тонкие ленты из картона или прессшпана. Изоляция у вывода проводов, как у наиболее слабых пунктов, усиливается или бумажной оплеткой или плотно обмотанной лентой.

Обмотка катушек лентой производится или от руки, или механически при помощи машины, как изображено схематично на фиг. 106.

**Машина для обмотки лентой.** Кольцо $A$ с прорезом $B$ имеет вращательное движение при помощи круглого ремня, охватывающего приводящий шкив и направляющие ролики. На катушку $C$ намотана лента. Сторона $D$ катушки, которую нужно обмотать лентой, вводится в $A$ через прорез $B$ и к ней прикрепляется конец ленты. Две опоры, прикрепленные к столу, позволяют работнице удерживать сторону $D$ катушки и перемещать ее во время обмотки. Это перемещение вместе с вращательным движением дает винтовую обмотку ленты с перекрытием от $^1/_2$ до $^1/_3$ ширины ленты.



Фиг. 106. Машина для обмотки лентой.

Пуск в ход машины производится надавливанием на педаль $P$, чем производится перемещение ролика $G$ и вследствие этого натяжение ремня. Пружина $R$ отводит ролик $G$, как только перестают нажимать на педаль. Конец ленты приклеивается тестовидной массой из смеси резины и спирта, затем прихватывается для закрепления несколькими стежками.

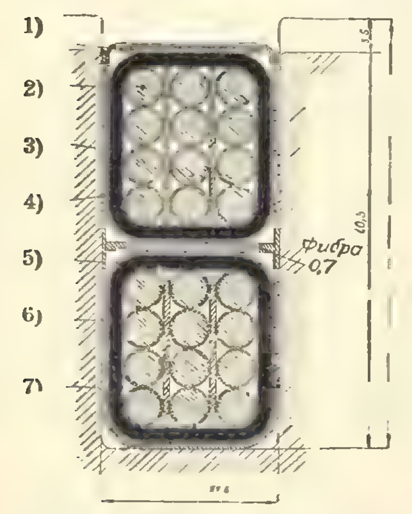
Современная практика стремится всю изоляцию перевести на изоляцию катушек: после обмотки катушки лентой, она подвергается ряду процессов, преследующих цель сделать ее жесткой, а изоляцию ее — прочной и противостоящей разрушению.

После всех этих процессов, катушка переносится в сушилку, предпочтительно в ваккум-сушилку, чтобы извлечь все следы влаги, затем катушку погружают в горя-

чий лак и высушивают в обыкновенной сушилке. Некоторые фирмы пропитывают лаком катушку несколько раз.

**Способы изоляции** (примеры). Как качество изоляции, так и толщина изоляционного слоя различны у разных фирм.

Для примера приводим чертеж паза с указанием толщины и расположением изоляции катушек трамвайного мотора в 500 вольт (фиг. 107).




Фиг. 107. Изоляция паза. 1) фибра толщин. 0,7 *мм*; 2) круглый провод диам. 3,6 *мм*—с изоляцией 4 *мм*; 3) полотняная лента, толщин. 1,2 *мм*; 4) три слоя промасляной ткани, толщин. 1,2 *мм*; 5) киперная лента: 6) картон толщин. 0,5 *мм*; 7) картон толщин. 0,5 *мм*.

При 110 вольт эта же фирма применяет только промасленную плотную ленту с половинным перекрытием. Затем обмоточную ленту с половинным перекрытием, и все дважды покрывается лаком.

Другая фирма снабжает пазы *u*-образной частью из миканита в 0,3—0,5 *мм*, независимо от напряжения. Для изоляции шинной обмотки эта фирма применяет:

два слоя японской бумаги в 0.1 *мм*, всего 0,4 *мм*.

одну ленту 0,4 *мм*., всего 0,8 *мм*.

Для изоляции обмотки из проводов:

обмотанная проволока, два слоя бумаги — 0,4 *мм*.

японская бумага в 0,1 *мм*, всего 0,2 *мм*.

лента в 0,4 *мм*, всего 0,8 *мм*.

Затем производится просушка в ваккум-камере. пропитка специальным лаком и просушка в течение полдня в сушильной камере при температуре в 100° С.

Можно катушки поместить в подогретые формы и обрабатывать их битюминозным (смолистым) изоляционным материалом. который делает секции однородными, жесткими. Преимущество этого метода состоит в том, что провода при вибрации не будут смещаться и не произойдет соединения между проводниками, в виду порчи бумажной обмотки.

## ГЛАВА XV.

## Проверка обмотки и нахождение повреждений.

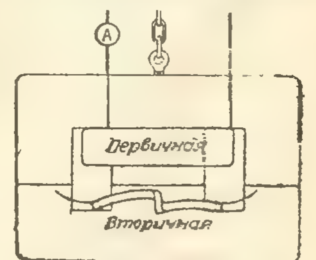
**Проверка новой и ремонтированной обмотки.** Проверке подлежат: 1) каждая катушка; 2) обмотка во время работы; 3) законченная обмотка якоря.

1) П р о в е р к а  к а т у ш е к:

а) установить при помощи лампы отсутствие обрыва проводов;

б) установить отсутствие соединения между витками.

Последнее быстро и легко определяется при помощи трансформатора, изображенного на фиг. 108.




Фиг. 108. Трансформатор для проверки секций.

Если имеется контакт между витками, то вторичная обмотка будет коротко замкнута, что вызовет возрастание первичной силы тока. Для быстроты маневрирования верхняя часть трансформатора прикрепляется при помощи цепи к концу рычага.

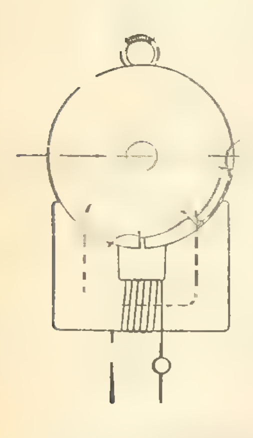
Трансформатор индуцирует в секции, если она имеет короткое замыкание, электродвигательную силу, вдвое или даже в три раза превосходящую нормальную.

Одна из частей трансформатора может быть сделана сменной для его пользования для катушек якорей разных размеров.

2) Проверка во время обмотки. После того, как все катушки уложены и коллектор насажен, следует:

а) Проверить, нет ли коротко-замкнутой секции. При помощи трансформатора (фиг. 109) такую проверку производят быстро, ставя последовательно все секции в положение, указанное на фигуре. Короткое соединение в одной секции вызывает, как выше было указано, чрезвычайный нагрев этой секции и сильное увеличение тока в первичной цепи.

На фиг. 110 изображен прибор, основанный на том же принципе, но переносного типа.



Фиг. 109. Трансформатор для проверки обмотки.

Фиг. 110. Передвижной прибор для испытания якорей.

Чтобы найти поврежденную секцию, можно пользоваться железной полосой, которую передвигают по якорю.

Когда эта полоса магнитно коротко замыкает два зубца, между которыми находятся в пазах пучки поврежденной секции, то она притянется с большой силой, в виду сильного притяжения от тока короткого замыкания. Продолжая перемещение, найдем и другой пучек секции и, таким образом, определим, какая секция повреждена. Бнуско в Ремонтных Мастерских государственных ж. д. заменил железную пластину телефоном $T$, что делает приспособление гораздо более чувствительным (фиг. 109).

б) Проверить, нет ли соединения с корпусом якоря. Испытание производится, прилагая соответствующее напряжение переменного тока к электрически соединенным частям обмоток якоря и к корпусу. Минимальное напряжение для испытания—пятикратное нормальное, но не менее 1500 вольт.

3) Испытание законченного якоря:

а) чтобы убедиться, что нет коротких соединений или обрывов провода, применить нижеприведенные методы для отыскания дефектов обмотки:

б) подвергнуть вновь якорь испытанию на пробивание, как выше указано (2б). Предпочтительнее производить это испытание, когда якорь горячий, после того, как он вынут из сушилки.

**Повреждения в якоре во время работы.** Главнейшие возможные повреждения нижеследующие:

1) Короткое соединение в одной из секций или между пластинами коллектора.

2) Соединение между секциями.

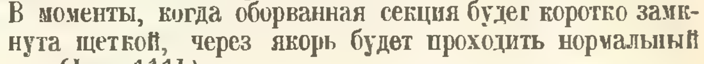
3) Обрыв или плохой контакт в обмотке секции или между секцией и коллектором.

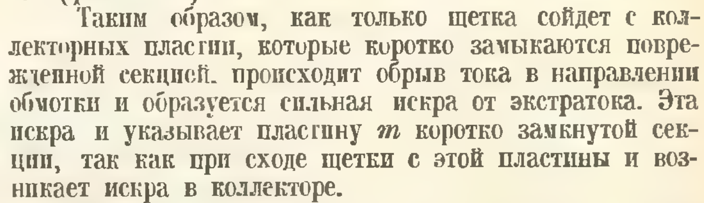
4) Соединение с корпусом обмотки или коллектора.

При первых двух случаях образуются замкнутые цепи, в которых индуцируются токи очень большой силы, что не замедлит послужить причиной сгорания секции и может сжечь якорь, если он своевременно не будет остановлен.

Очень часто наружный осмотр достаточен, чтобы установить этот дефект в поврежденном якоре и его локализировать.

Мы ниже приводим методы, которые надо применить для отыскания дефекта, если наружный осмотр не дает возможности установить поврежденную секцию. Обрыв обмотки секции или плохой контакт происходят чаще всего от плохой пайки между шинами, из которых состоит секция, или в месте соединения секции с коллекторными пластинами. Если будем рассматривать обмотку, имеющую обрыв в одном из направлений, то в направлении, где таковой обрыв имеется, тока не будет (фиг. 111).





Фиг. 111.

В моменты, когда оборванная секция будет коротко замкнута щеткой, через якорь будет проходить нормальный ток (фиг. 111*b*).

Таким образом, как только щетка сойдет с коллекторных пластин, которые коротко замыкаются поврежденной секцией, происходит обрыв тока в направлении обмотки и образуется сильная искра от экстратока. Эта искра и указывает пластину *m* коротко замкнутой секции, так как при сходе щетки с этой пластины и возникает искра в коллекторе.

В случае петлевидной обмотки, оборванная секция будет одна из двух секций, которые соединяются с пластиной, на которой образуется нагар от искры, и достаточно проверить спайку этих пластин.

Когда обмотка волнообразная, последовательно могут быть коротко замкнуты несколько секций, и узнать, в какой из секции обрыв, — является затруднительным, в виду чего, проще будет применять метод, о котором будет указано далее.

Соединение с корпусом обмотки или коллектора ничем не обнаруживается, если нет в распределительной сети постоянного или случайного земляного соединения.

В последнем случае короткое соединение или ненормальный нагрев якоря будут иметь место только в том случае, если корпус мотора не изолирован от земли.

Время от времени рекомендуется проверять состояние изоляции якоря, напр., при помощи омметра. Чтобы изоляция считалась удовлетворительной, она должна быть порядка мегоома.

Соединение с корпусом якоря, а также соединения между секциями происходят чаще всего от трения с бандажами якоря. Под действием центробежной силы и электромагнитных усилий провода, если они не вполне прочно скреплены в пазу, получают небольшие перемещения, которые, с течением времени, стирают изоляцию и образуют прямой контакт между проводом и бандажами.

Нижеприведенные методы позволяют обнаружить различные дефекты, которые наружным осмотром не могут быть установлены.

**Методы для обнаружения дефектов.** Какая бы порча якоря ни произошла, следствием явится нарушение основного свойства обмотки якоря, ее симметрии.

Таким образом, достаточно выяснить для каждого типа возможных повреждений, вызываемое ими нарушение симметрии, чтобы соответствущим прибором установить или сделать заключение о характере повреждения.

Пропустим через якорь при помощи двух проводов, соединенных с двумя коллекторными пластинами, расположенными под углом в 180°, постоянный ток, напр., от аккумуляторов или другого источника (аккумуляторы имеют преимущество, в виду их постоянства напряжения).

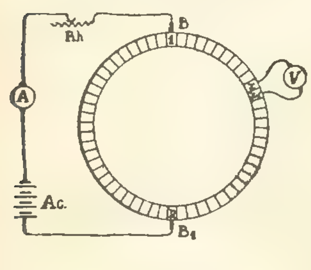
Пусть 1 и *n* (фиг. 112) коллекторные пластины, на которые опираются щетки, подводящие ток от аккумуляторов *Ac*. Реостат *Rh* в цепи якоря позволяет:

1) регулировать силу тока так, чтобы она не превосходила величины, допустимой для якоря;

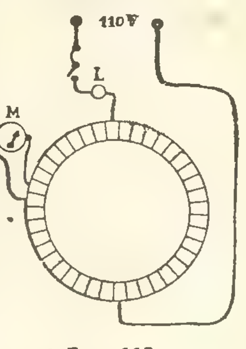
2) регулировать силу тока в таких пределах, чтобы вольтметр давал желательное отклонение;

3) во время измерений не опасаться коротких замыканий.

Если пользуются напряжением в 110 или 220 вольт от осветительной сети, роль сопротивления при аккумуляторах исполняет обычно включенная последовательно в цепь лампа накаливания (см. фиг. 113).



Фиг. 112



Фиг. 113.

Измерим разность потенциалов между двумя соседними пластинами $X$ и $X+1$ коллектора и пусть она равняется $e$ милливольтам (можно пользоваться электромагнитным амперметром без шунта или специальным вольтметром).

Если будем перемещать обе токоподводящие щетки по коллектору, каждую на одну пластину, напр., по движению часовой стрелки, то отклонение $e$ не изменится, если якорь имеет симметричную обмотку и находится в удовлетворительном состоянии. Напряжение между пластинами $X+1$ и $X+2$ будет равно напряжению между пластинами $X$ и $X+1$. Это действительно для каждой другой пары пластин коллектора.

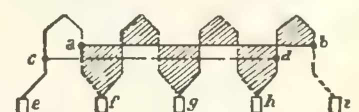
**Короткое замыкание в секции или в коллекторе.** В секции короткое замыкание происходит между соседними витками, а не между двумя пучками, из которых они образованы, так как пучки расположены в разных пазах. По преимуществу, это имеет место при секциях проволочной обмотки, состоящих из нескольких витков. Если секция коротко замкнута полностью или частично, разность потенциалов между двумя коллекторными пластинами, соединенными с концами этой секции, или почти равна нулю, или меньше напряжения между другими пластинами.

Можно даже при помощи гальванометра с большим сопротивлением узнать, произошло ли короткое соединение в секции или между коллекторными пластинами. В последнем случае отклонение равно нулю, в первом же — оно имеет некоторое значение.

**Соединение между секциями.** Как мы уже указывали, при соединениях между секциями образуются коротко-замкнутые цепи (фиг. 114—115), которые вызывают нагревание секции и сгорание изоляции, вследствие чего обычно образуется непосредственный контакт между секциями или в самой секции.

Фиг. 114. Контакт между секциями в случае петлевидной обмотки.

Контакт между секциями, как и короткое соединение в секции уменьшают разность потенциалов между коллекторными пластинами, которые в этом случае коротко замыкаются. Чтобы изолировать поврежденные секции, надо установить пластины, которые связаны с коротко замкнутыми секциями, и проверить все секции, которые попарно присоединяются к коллекторным пластинам. Секции, соединенные между собою, т.-е. $ab$ и $cd$, — две из четырех, которые заканчиваются в пластинах.



Фиг. 115. Контакт между секциями в случае волнообразной обмотки.

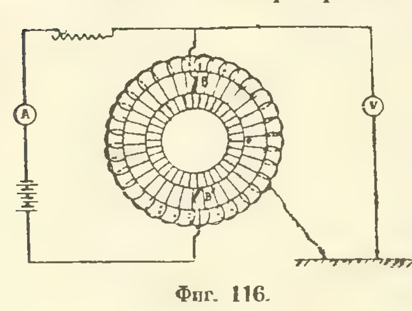
Следует отметить, что короткое соединение $cd$ производит то же действие, что короткое соединение $ab$. Что касается промежуточных секций волнообразных обмоток, то нужно их проверить, чтобы убедиться, что они не повреждены от нагрева.

**Обрыв или плохой контакт в секции.** Когда оборванная секция соединяется с вольтметром, последний показывает напряжение, которое имеется у щеток, что позволяет немедленно установить, с какой коллекторной пластиной соединена оборванная секция.

Если установлено, что якорь имеет плохой спай, рекомендуется проверить все спайки. Проверку легко произвести, ударяя молотком: этим обнаруживаются все поврежденные и подлежащие ремонту секции.

**Соединение с корпусом** (фиг. 116). Для нахождения соединения с корпусом пользуются вольтметром *V*, который приспособлен для измерения напряжения между щетками *BB'*.

Такой вольтметр присоединяется к одной из щеток, напр., *H*, и к корпусу.

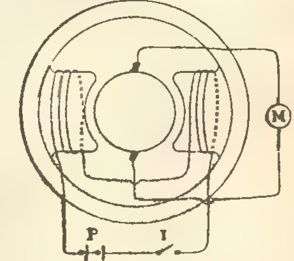

Фиг. 116.

Затем медленно поворачивают якорь от руки и наблюдают за показанием вольтметра. Когда коллекторная пластина, соответствующая секции, имеющей соединение с корпусом, подойдет к щетке *B'*, вольтметр покажет максимальное напряжение. Минимальное же показание вольтметра будет, когда эта же коллекторная пластина коснется щетки *B*. Пользуясь в этом случае гальванометром с большим сопротивлением, можно установить, произошла ли порча изоляции коллектора или обмотки. В первом случае минимум напряжения равен 0, во втором случае этот минимум будет тем выше, чем повреждение изоляции будет дальше от коллекторных пластин.

**Многократно замкнутые обмотки.** При многократно замкнутых параллельных обмотках случается, что некоторые пластины имеют нагар и потому сопротивление контакта угольных щеток изменяется, что вызывает неравномерное распределение нагрузки между отдельными обмотками и обусловленное этим искрообразование коллектора. Этот недостаток легко обнаружить, так как при этом каждая *q*-ная пластина имеет нагар (*q*-кратность обмотки). В этом случае нужно немедленно во время работы хорошо почистить коллектор корборундовой бумагой, чтобы все коллекторные пластины были в одном и том же состоянии.

**Определение нейтрального положения при холостом ходе.** Для определения точно нейтрального положения щеток электродвигателя нужно пропустить слабый ток через индуктор от нескольких аккумулятор ных или гальванических элементов.

Ставят в ответвлении милливольтметр *M* (напр., электромагнитный амперметр без шунта) между щетками. Затем ток в индукторе выключается рубильником *I*. Если щетки поставлены строго по нейтрали, милливольтметр не даст никакого отклонения в момент разрыва цепи выключателя. Метод этот является чрезвычайно чувствительным.



Фиг. 117. Нахождение нейтральной линии.

## ВТОРАЯ ЧАСТЬ.

# Переменный ток.

## I. ТЕОРИЯ.

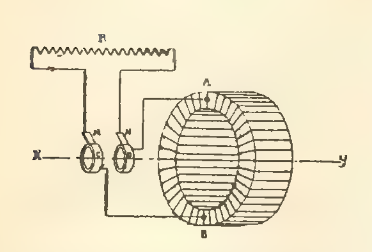
### ГЛАВА I.

### Производство переменного тока.

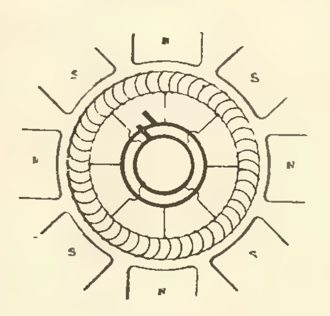
**Простые переменные токи.** Пусть имеем двухполюсное кольцо Грамма (фиг. 118): припаяем два провода к точкам *A* и *B*, расположенным на 180° друг от друга, и присоединим эти два проводника соответственно к кольцам *C* и *D*, по которым скользят щетки *M* и *N*. Ток, который будет получаться в цепи *R*, будет переменным, в виду переменной разности потенциалов между точками *A* и *B*.

Такая машина представляет наиболее простую форму альтернатора.

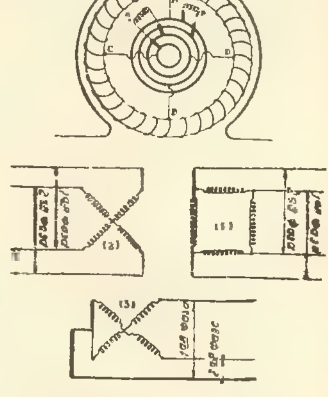
При многополюсном кольце мы можем также получить переменный ток, если мы сделаем соединения, указанные на фиг. 119. При этом будет столько работающих в параллель цепей, в которых индуцируется ток, сколько имеется полюсов.



Фиг. 118. Якорь двухполюсного альтернатора в виде кольца Грамма.



Фиг. 119. Многополюсный альтернатор однофазного тока.



Фиг. 120. Двухфазный альтернатор.

**Переменный ток двухфазный.** Два переменных тока называются двухфазными, когда при одинаковой периодичности они отличаются по фазе на 90°.

Самым простым способом для получения такого тока является способ, изображенный на фиг. 120.

Четыре точки $A$, $B$, $C$ и $D$ кольца, находящиеся на равных расстояниях друг от друга, соединяются с четырьмя кольцами. Ток в цепи $R$ и $R_1$ будет смещен по фазе на 90°.

Схематически такое соединение представлено на фиг. 120 (1).

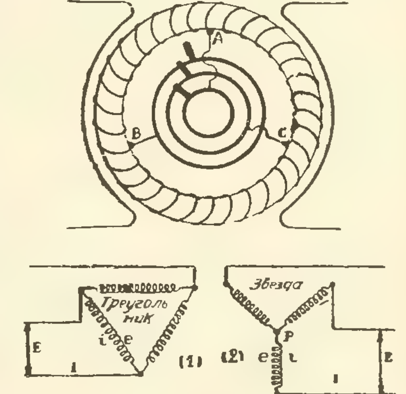
Разделив в $A$, $B$, $C$ и $D$ эти цепи, мы можем иметь и другие группировки, как это указано на фиг. 120 (2 и 3).

**Трехфазный ток**. Три ответвления, сделанные под углом в 120° на двухполюсном кольце и соединенные с тремя контактными кольцами, дают между щетками, скользящими по кольцам, взятыми попарно, трехфазную переменную разность потенциалов. Такая группировка называется соединением т р е у г о л ь н и к о м. Если разрезать кольцо в трех пунктах ($A$, $B$, $C$) и соединить цепи согласно фиг. 121 (1), получаем соединение з в е з д о й. Точка $P$, общая всем трем фазам, называется н е й т р а л ь н о й точкой.

Для генераторов соединение звездой является более подходящим, чем соединение треугольником, по следующим причинам:

1) не происходит циркуляции токов, которые могут иметь место в замкнутой цепи (между прочим, вызываемые третьей гармоникой и кратным к ней),

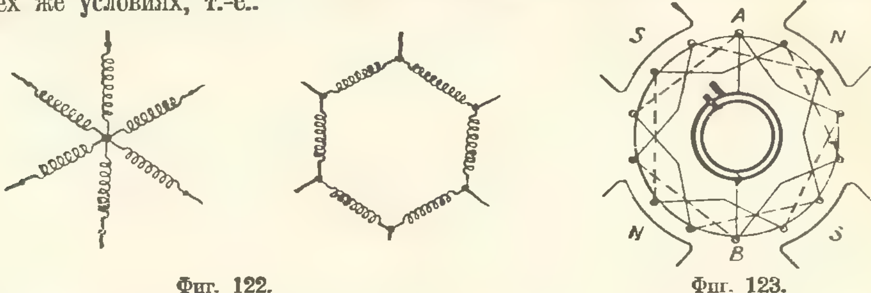
2) можно получить более высокое напряжение при том же якоре, а именно, в отношении $\sqrt{3}$, чем при соединении треугольником.




Фиг. 121. Трехфазный альтернатор.

**Шестифазный ток.** При шести ответвлениях, присоединенных к шести кольцам, по которым скользят щетки, мы получим шестифазный ток. Большее число фаз практического значения не имеет (фиг. 122).

**Барабанная обмотка.** Всякий многополюсный якорь с последовательной обмоткой тождественен двухполюсной кольцевой обмотке и будет давать переменный ток при тех же условиях, т.-е.:




Фиг. 122. Фиг. 123.

1) однофазный ток при двух отводах тока (фиг. 123),
2) двухфазный — при четырех отводах под углом 90°,
3) трехфазный — при трех отводах под углом в 120°.

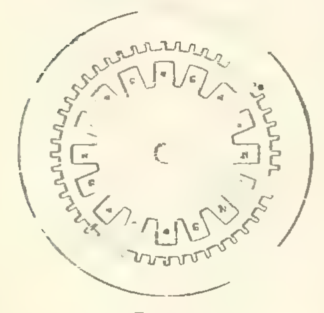
Наконец, якоря с параллельной или последовательно-параллельной обмоткой тождественны кольцевой многополюсной обмотке.

**Недостатки, которые имеют генераторы такого типа.** Промышленные альтернаторы бывают, обычно, значительной мощности, благодаря значительной величине одного из факторов: напряжения или силы тока.

В виду вышесказанного, отвод тока при помощи трущихся по кольцам щеток затруднителен, или вследствие трудности иметь достаточно надежную изоляцию, или в виду значительных размеров колец и щеток и их износа, неизбежных при большой силе тока.

Далее, крайне нежелательно допустить вращение с большой скоростью проводников, в которых индуцируется ток высокого напряжения; вибрация и механическое воздействие на проводники могут повредить изоляцию и служить причиной весьма опасных коротких замыканий.

Все эти затруднения отпадают, если якорь сделать неподвижным и вращать индуктора (фиг. 124).



Фиг. 124.

Другое неудобство этого типа машин обусловлено тем, что отводится, по крайней мере, ток от двух цепей, работающих параллельно, и потому неравенство магнитных потоков, пересекающих разные цепи, вызывает циркуляцию внутренних токов, обусловливающих нагревание якоря: вредное влияние этого явления возрастает с увеличением числа полюсов. Обмотка многополюсная, волнообразно-последовательная, почти уничтожает это вредное действие, но такая обмотка заставляет помещать в одном пазу проводники, имеющие большую разность потенциалов. Наконец, когда нужно получить высокое напряжение при малой силе тока, то нелогичным является группировать параллельно две или несколько цепей, но, напротив, предпочтительней последовательное соединение.

Из вышеуказанных соображений следует, что обмотка альтернаторов не должна быть замкнутой. Каждая фаза должна иметь оба конца свободными и проводники каждой фазы должны быть соединены последовательно. При этом встречаются только следующие исключения:

1) При машинах такого типа, как, напр., конвертор, где нужно иметь коллектор, необходимой является замкнутая обмотка. При этом применяют обычно многополюсную петлевидную обмотку.

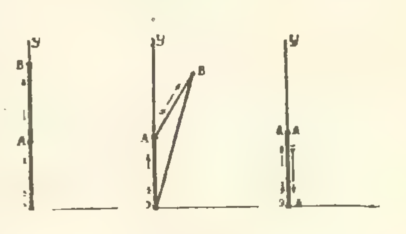
2) Если сила тока обусловливает очень большие сечения, тогда каждая фаза состоит из нескольких параллельных цепей; то же относится к случаю проволочной

обмотки, когда вместо одной слишком толстой, трудно поддающейся сгибанию, проволоки применяют две параллельно-соединенные тонкие проволоки.

**Обмотки сосредоточенные и обмотки равномерно-распределенные.** Рассмотрим однофазный альтернатор, имеющий $2p$ полюсов и $N$ проводников. Спрашивается, что выгоднее с точки зрения использования меди, распределить ли все проводники равномерно по всей окружности якоря или разбить обмотку на определенное число групп и сосредоточить их в соответствующем числе впадин? Чтобы ответить на этот вопрос, предположим, что альтернатор обладает индукторными полюсами такой формы, что вращающееся магнитное поле возбуждает в каждом проводнике электродвижущую силу правильной синусоидальной формы. Предположим далее, что максимум электродвижущей силы возбуждается в тот момент, когда проводник проходит над средней линией полюса. Легко понять, что при последовательном включении нескольких таких проводников максимальная результирующая э. д. с. получится в том случае, когда частные максимумы в отдельных проводниках будут возбуждаться в один и тот же момент, иными словами, если их фазы будут постоянно совпадать.

В нашем случае это обозначает, что все последовательно-включенные проводники, сколько бы их ни было, должны быть удалены на расстояние полюсного шага.

Таким образом, с точки зрения получения максимальной э. д. с., лучшее решение состояло бы в распределении проводников между числом впадин, равных числу полюсов и находящихся на равном расстоянии друг от друга. Чем больше сдвиг между фазами слагающих э. д. с. в отдельных проводниках, тем меньше результирующая э. д. с., что ясно из фиг. 125, представляющей геометрическое сложение векторов слагающих электродвижущих сил.



Фиг. 125.

Если соединить последовательно наш проводник, проходящий над средней линией полюса, с проводником, расположенным над одноименным полюсом, результирующая э. д. с. будет очень мала, так как возбуждаемые в них электродвижущие силы имеют противоположное направление, и в пределе, когда фазы их по абсолютной величине одинаковы, результирующая э. д. с. станет равной нулю.

На основании этих рассуждений мы видим, что, с точки зрения получения наивыгоднейшей э. д. с., нет основания применять катушки с шагом, меньшим полюсного шага.

Однако, осуществление обмоток с одной бороздой на полюс и фазу ведет к чрезмерно большой реакции якоря и к менее плавной кривой э. д. с. по сравнению с тем, что мы имеем при равномерном распределении обмотки. Между этими двумя крайними пределами обыкновенно останавливаются на средней величине, и большая часть современных альтернаторов имеет обмотку с двумя, тремя и четырьмя пазами на фазу и полюс.

Рассмотрим, напр., случай трехфазного альтернатора, имеющего 12 полюсов и по два паза на полюс и фазу. Общее число пазов на фазу будет $12 \times 2 = 24$, и число пазов на все три фазы: $24 \times 3 = 72$.

**Схематическое изображение обмоток.** Как и в случае обмоток постоянного тока, схема соединений будет дана в двух формах:

1) В фронтальной проекции, при которой ось машины перпендикулярна к плоскости чертежа.

2) В развернутом виде, при котором якорь предполагается разрезанным по образующей и развернутым в плоскости чертежа.

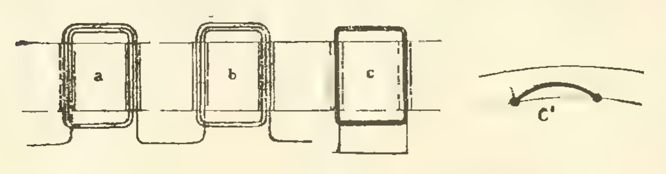
Последний способ дает особенно наглядную картину в случае петлевидной или волнообразной обмотки.

**Соединения проводников обмотки.** Каково бы ни было число борозд на полюс и фазу, мы всегда поставлены в необходимость соединять последовательно

то или иное число проводников данной борозды с другими проводниками, лежащими в другой более или менее отдаленной борозде.

В случае проволочной или кабельной обмотки обычный способ соединений представлен на фиг. 126 (a и b).

Было бы сложно и бесполезно в случае схемы проволочной обмотки изобразить на чертеже все проводники и их соединения: мы будем применять более упрощенное изображение, соединяя в одну толстую черту все проволоки, образующие одну сторону катушки. Пример такой развертки представлен на развертке фиг. 126 c. Фиг. 127 c′ дает, наоборот, фронтальную проекцию той же катушки.



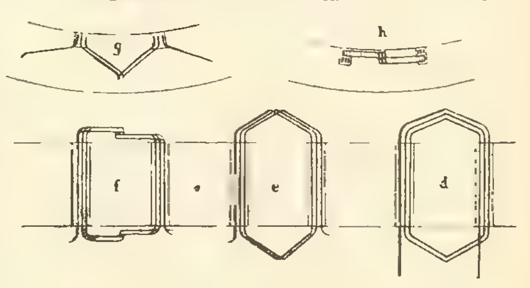

Фиг. 126—127. Проволочная катушка.

Когда вместо проволок применяют прямоугольные стержни, то порядок образования катушки может быть:

1) такой же, как и в случае проволочной обмотки (фиг. 128 d);

2) можно изготовить катушки с петлеобразной обмоткой (фиг. 128 e, f);

3) можно с совокупностью стержней каждой фазы, если идет речь о раздельных обмотках, или с совокупностью стержней для закрытых обмоток образовать волнообразную обмотку.




Фиг. 128. Стержневая катушка.

В случае обмотки по первой схеме, мы будем иметь такое же число различных по длине витков, сколько в каждой борозде имеется стержней, что представляет неудобство на практике (один из способов устранения этого неудобства представлен ниже на фиг. 191).

В случае обмоток по схеме 128 (e и f), все катушки будут одного размера Наружные соединения осуществляются при этом по типу разверточной или броневой обмотки, изученной нами выше для машин постоянного тока.

Было бы неудобно при изображении схемы развертки обмотки изображать торцовые соединения, как показано на фиг. 128 f, в виду чего в дальнейшем мы будем их изображать в упрощенном виде, как показано на фиг. 128 e.

Броневая обмотка применяется лишь в случае наличия двух рядов стержней на каждую борозду (фиг. 128 h).

Наконец, в случае волнообразной обмотки мы возвращаемся к тем типам соединений, с которыми мы встречались выше в машинах постоянного тока — последовательным и последовательно параллельным.

## ГЛАВА II.

## Схема обмоток якорей альтернаторов, статоров и роторов индукционных моторов, а также коллекторных моторов.

Конструкция синхронных моторов по существу ничем не отличается от конструкции альтернаторов, и все, что будет сказано об обмотке последних, целиком относится к обмотке синхронных моторов.

Одни и те же схемы позволят одинаково получить переменное или вращающееся поле двух- или многофазных статоров индукционных моторов, за исключением компенсирующей обмотки коллекторных обмоток.

Что касается роторов коллекторных моторов, то они выполняются, как и якоря моторов постоянного тока. Можно только рекомендовать возможное сокращение шага для соответствующего уменьшения реакции якоря.

Для мощностей в 5—6 лош. сил их снабжают последовательной обмоткой. Для больших мощностей применяют по преимуществу параллельную обмотку.

Мы рассмотрим схемы соединений в следующем порядке: 1) якоря альтернаторов однофазных; 2) якоря альтернаторов двухфазных; 3) якоря альтернаторов трехфазных; 4) специальные обмотки для альтернаторов; 5) роторы индукционных моторов.

Изучение однофазных обмоток обхватит случаи обмоток с 1, 2, 3, 4,... каналами на полюс и соответствующим числом катушек и стержней на полюс.

В случае двух- или многофазных моторов мы ограничимся несколькими примерами, так как эти обмотки могут быть легко получены, как комбинации однофазных обмоток. Для того, чтобы от однофазной обмотки перейти к трехфазной, достаточно сгруппировать на одной станине три тождественных обмотки, сдвинутые одна относительно другой на $^1/_3$ периода, т.-е. на угол $\frac{2\pi}{3p}$, где $p$—число пар полюсов.

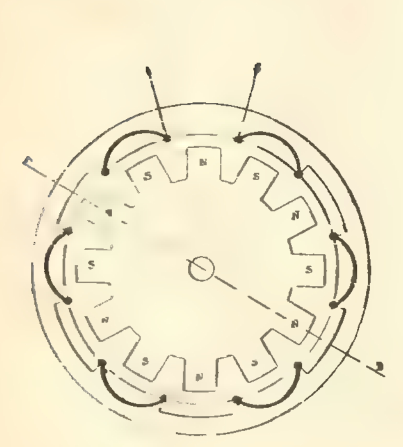
Само собой разумеется, что для возможности перехода от однофазной к трехфазной обмотке необходимо, чтобы промежуток, остающийся между смежными бороздами одной фазы, содержал число борозд, необходимых для укладки двух остальных фаз. Иными словами, пространство, занимаемое группой борозд, относящихся к одной фазе, должно быть меньше или в крайнем случае равно $^1/_3$ полюсного шага.

Что касается обмоток пятой категории, то она обнимает:

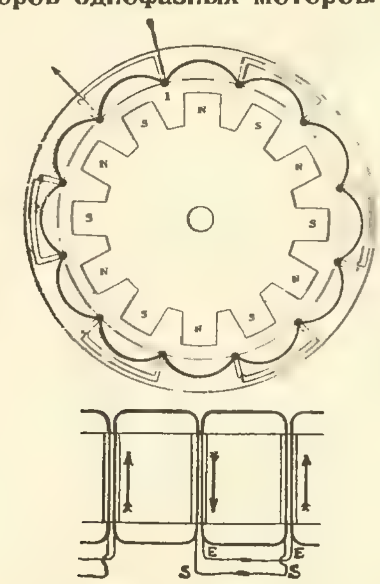
a) роторы с контактными кольцами и скользящими щетками;

b) роторы с коротко замкнутой обмоткой.

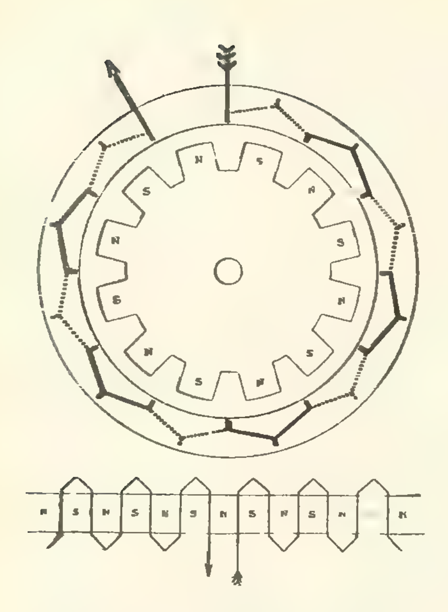
## Обмотка альтернаторов и статоров однофазных моторов.



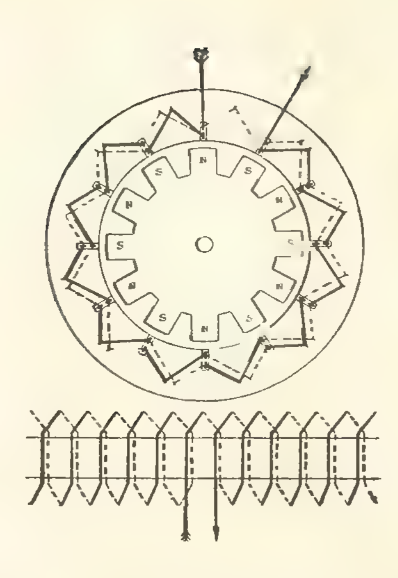
Фиг. 129. 12 полюсов: один канал на полюс: $\frac{N}{12}$ число проводников на канал: 1 катушка на каждую пару полюсов. Обмотку можно разделить на две части, напр., по диаметру $AB$, освобождая два соединения. Максимум разности напряжения между двумя проводами, лежащими в одном канале, равен разности напряжения всей катушки. Реакция якоря высокая; кривая средней электродвижущей силы средней формы.



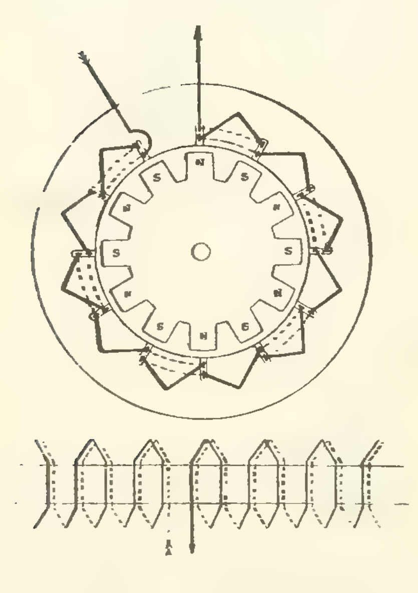

Фиг. 130. 12 полюсов: один канал на полюс; $\frac{N}{12}$ число проводников на канал. Обмотку можно разделить на две части, лишь разъединив две катушки. Разность напряжения между двумя проводами в одном пазу приблизительно равна общей разности напряжения. Объем, занятый внешней частью катушек, меньше, чем в предыдущем случае, охлаждение лучшее. При трехфазном токе эта обмотка представляет то неудобство, что для практического ее осуществления требуются три формы катушек.



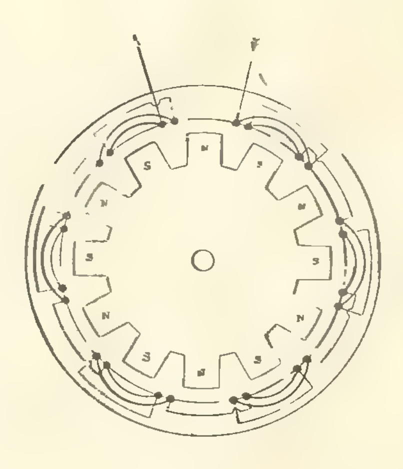
Фиг. 131. 12 полюсов; 1 канал на полюс; один стержень на канал; обмотка волнообразная. Якорь или статор расчленить на две части можно, лишь разрезав обмотку. Этот род обмотки применим лишь для низких напряжений.



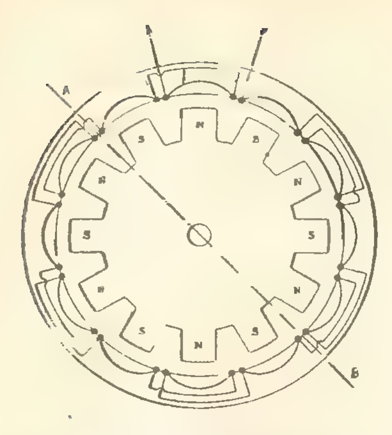
Фиг. 132. 12 полюсов; один канал на полюс; два стержня на канал - один поверх другого. Обмотка волнообразная. Якорь или статор расчленить на две части возможно, лишь разрезав обмотку. Преимущественно применяется как обмотка низкого напряжения вследствие трудности изоляции между стержнями одного и того же канала.



Фиг. 133. 12 полюсов; один канал на полюс; два стержня на один канал; обмотка волнообразная, сплетенная, эквивалентна обмотке катушечной. Пригодна для высоких напряжений.

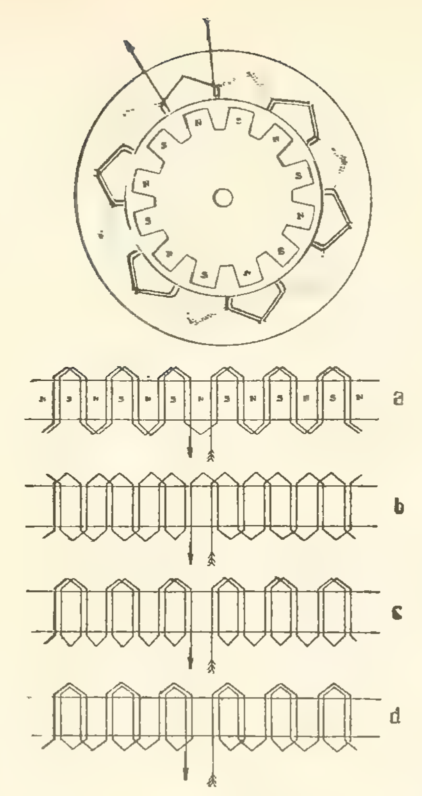


Фиг. 184. 12 полюсов; два канала на полюс; $\frac{N}{24}$ число проводников на канал. Одна катушка на пару полюсов. Обмотка делится на две части разъединением двух соединений. В отличие от обмотки фиг. 129, разность напряжения между двумя проводниками одного канала равна половине максимальной величины; самоиндукция также более слабая. Пригодна для высоких напряжений. Тип обмотки очень распространенный.

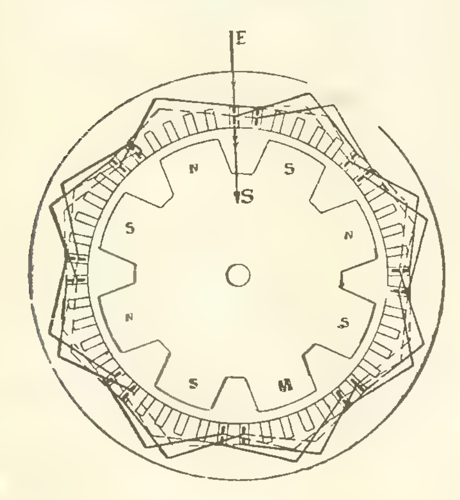


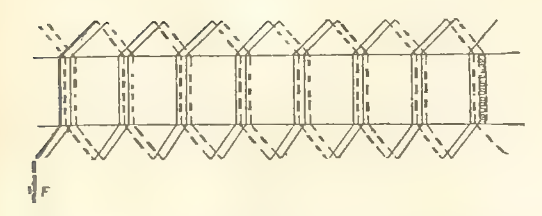

Фиг. 135. Обмотка тождественная с электрической точки зрения с предыдущей. Обмотка делится на две части. Головки обмоток занимают меньше места.

Примечание. При трехфазной обмотке по этому типу требовались бы три различных формы катушек, вследствие чего для этой цели она не применяется.

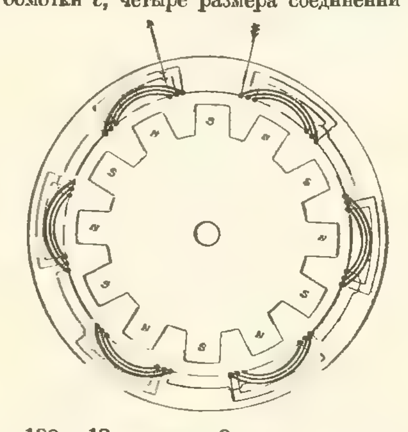



Фиг. 136. 12 полюсов; два канала на полюс; один стержень на канал: a) обмотка волнообразная; b) видоизменение обмотки *a*; c) обмотка комбинированная — волнообразная и петлеобразная; имеет преимущество перед типом обмотки *a* в отношении изоляции мест скрещивания; три размера соединений; d) видоизменение обмотки *c*; четыре размера соединений

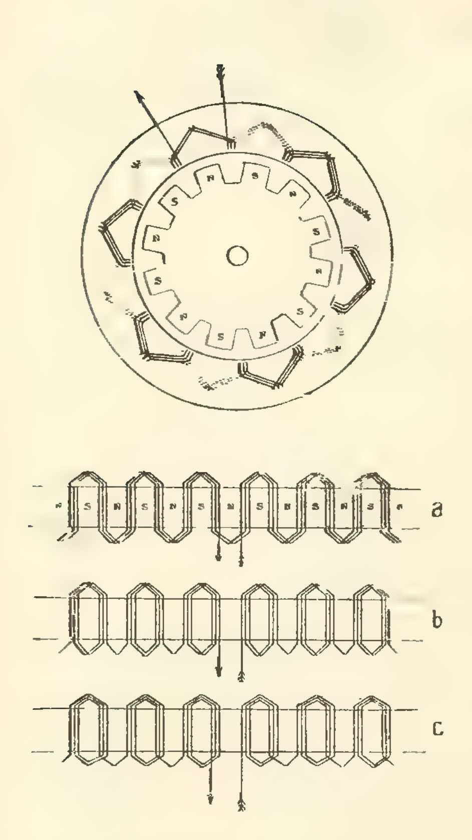


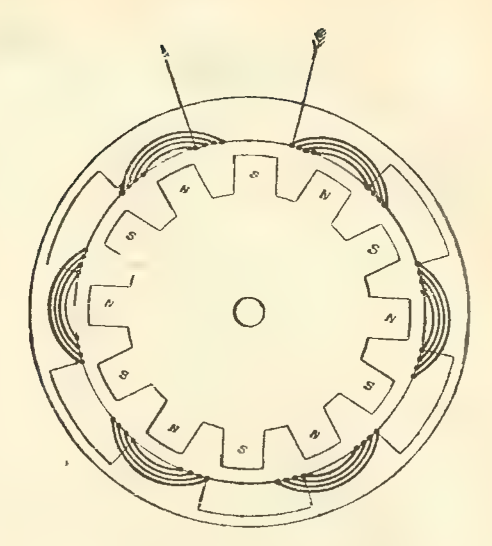

Фиг. 137. Обмотка Пихлера. 8 полюсов; два канала на полюс; два стержня на канал. Обмотка волнообразная. Один размер соединений. Пригодна для низких напряжений; в случае высокого напряжения затруднение представляет изоляция между стержнями одного канала.



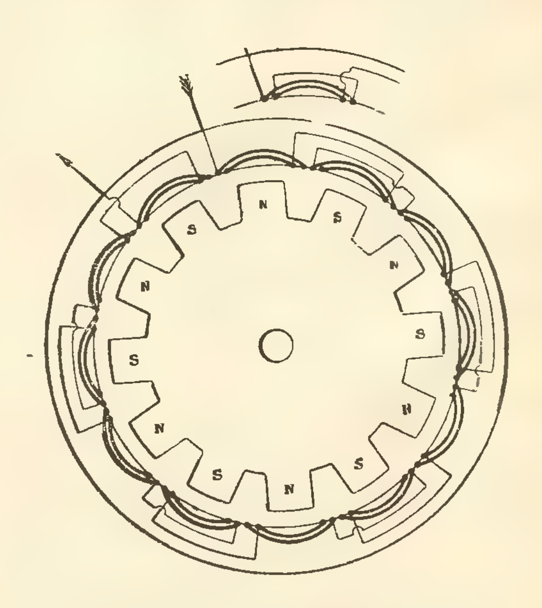
Фиг. 138. 12 полюсов; 3 канала на полюс; $\frac{N}{36}$ число проводников на канал; одна катушка на пару полюсов. Якорь или статор делится на две части разъединением двух соединений. Максимальная разность напряжений между проводами одного канала равна $^1/_3$ напряжений в случае обмотки по фиг. 129. Самоиндукция более слабая, чем в предыдущих типах. Распространенный тип обмотки для высоких напряжений.




Фиг. 139. 12 полюсов; три канала на полюс; 1 стержень на канал. a. Обмотка волнообразная. b. Обмотка комбинированная — волнообразная и петлеобразная; обладает преимуществом с точки зрения изоляции мест скрещения; три размера соединений. c. Видоизменение обмотки b; шесть размеров соединений. Обмотка Пихлера (см. схему фиг. 137). Чтобы, в случае обмотки в два слоя, иметь возможность пользоваться стержнями одного типа, верхний стержень одного канала соединяют с нижним стержнем следующего канала. Если проследим развернутую обмотку фиг. 132, то заметим, что под начальным стержнем нижний стержень одного канала переходит в нижний же стержень второго канала; получается, таким образом, диссимметрия. В обмотке Пихлера это неудобство устраняется коротким замыканием верхнего и нижнего стержней, как показано справа на развертке обмотки фиг. 137. Это те стержни, которые находятся по середине обмотки в том месте, где она меняет направление.

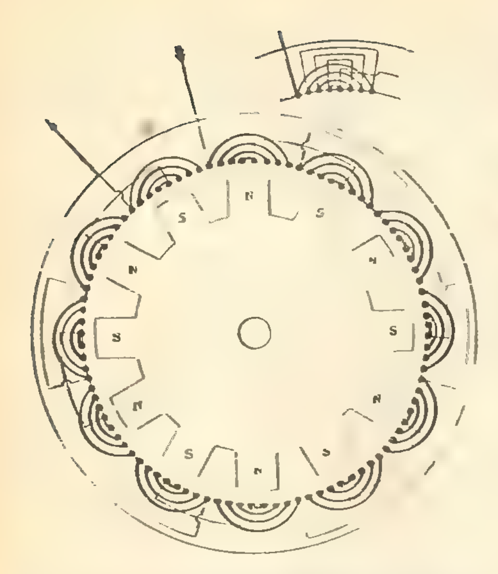


Фиг. 140. 12 полюсов; четыре канала на полюс; $\frac{N}{48}$ проводников на канал. Одна катушка на пару полюсов. Обмотка якоря делится на две части разъединением двух соединений. Максимальная разность напряжения между двумя проводниками одного канала равна $1/4$ максимальной разности напряжений в случае обмотки по фиг. 129. Самоиндукция более слабая, чем в обмотках всех предыдущих типов. Распространенный тип обмотки, применяемый по преимуществу для высоких напряжений.



Фиг. 141. 12 полюсов; четыре канала на полюс; одна катушка на полюс. Обмотка с электрической точки тождественна с предыдущей. Лучшее охлаждение

Примечание. Для трехфазного тока этот тип обмотки мало применим вследствие того, что при этом требуются катушки трех различных размеров.

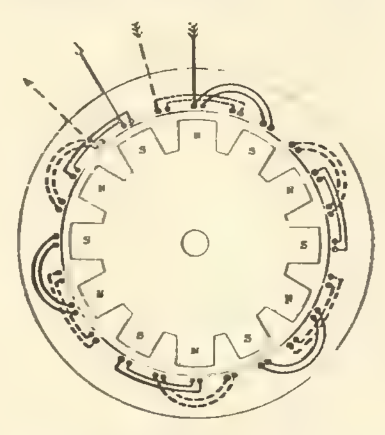


Фиг. 142. 12 полюсов. Обмотка распределена между несколькими каналами и может быть расчленена на две части. Реакция якоря более слабая, чем в предыдущих типах обмоток. Более благоприятная форма кривой средней электродвижущей силы, но менее совершенное использование меди с точки зрения наведенной электродвижущей силы.

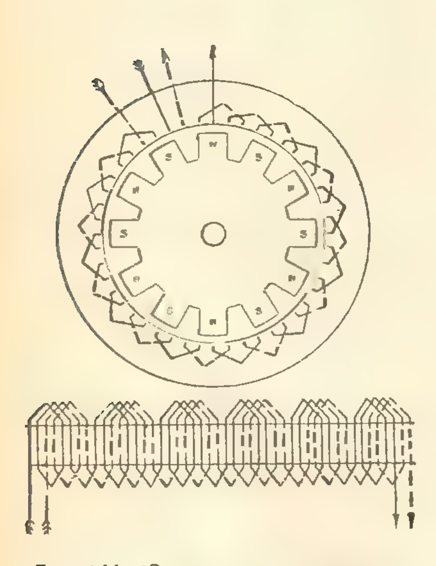
## Обмотки двухфазных альтернаторов и статоров двухфазных индукционных моторов.

Двухфазная обмотка получается путем размещения в каналах одного корпуса двух тождественных групп однофазных катушек, сдвинутых друг относительно друга на угол $\frac{2\pi}{4p}$.

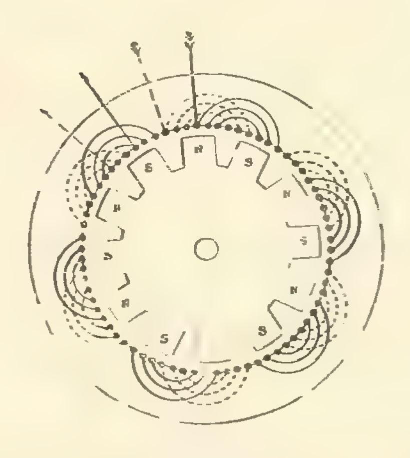
Ниже приведено несколько примеров подобных двухфазных обмоток. В случае высоких напряжений применяется преимущественно катушечная обмотка.



Фиг. 143. 12 полюсов; два канала на полюс и фазу. 1-я фаза обозначена сплошной чертой и 2-я фаза — пунктирной. Соединения между катушками одной фазы на рис. не показаны; осуществляются по способу, показанному на фиг. 134. Обмотка делится на две части разъединением четырех соединений.

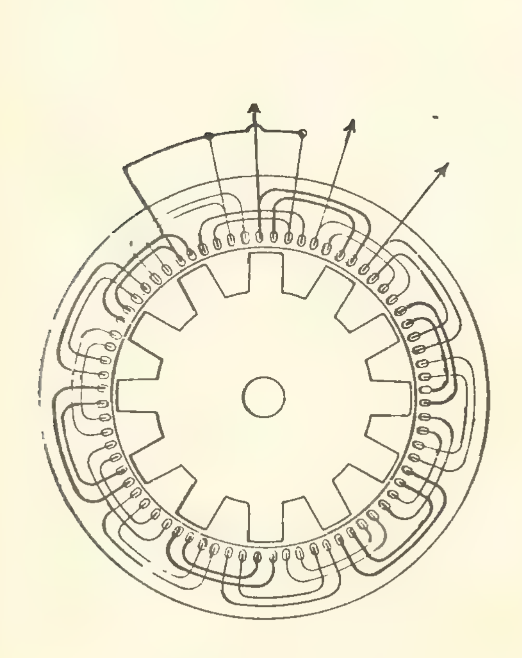


Фиг. 144. 12 полюсов; два канала на полюс и борозду; 1 стержень на канал; 1-я фаза: ---; 2-я фаза: --- Обмотка комбинированная волно- и петлеобразная. Для упрощения чертежа на фронтальной проекции задние соединения не показаны.

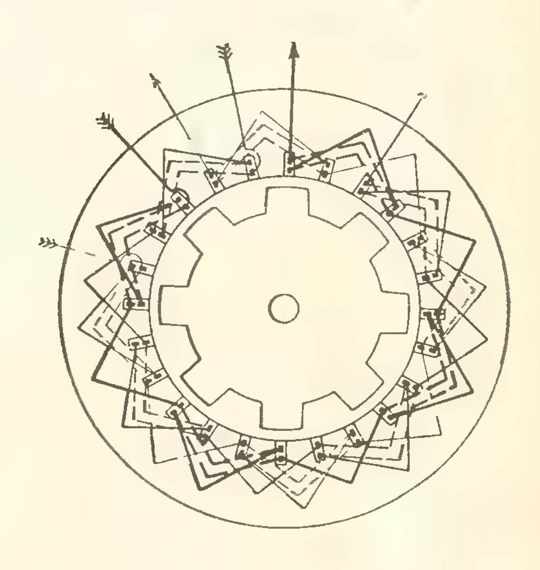


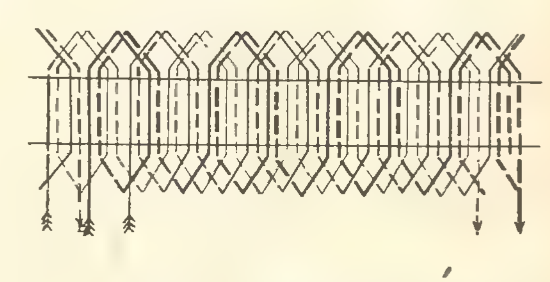
Фиг. 145. 12 полюсов; 3 канала на полюс и фазу; 1-я фаза: --; 2-я фаза: ---. Не показанные на рис. соединения катушек одной и той же фазы производятся, как показано на фиг. 138. Обмотка делится на две части разъединением четырех соединений.

## Обмотка трехфазных альтернаторов и статоров индукционных моторов трехфазного тока.



Фиг. 146. 12 полюсов; два канала на полюс и фазу; соединение звездой. Распространенный тип обмотки; вместо 2 могут быть три или четыре канала на полюс и фазу. Расчленение якоря на две части невозможно без демонтажа двух катушек. Соединение катушек одной и той же фазы не показано на чертеже и осуществляется по способу, указанному на фиг. 134.





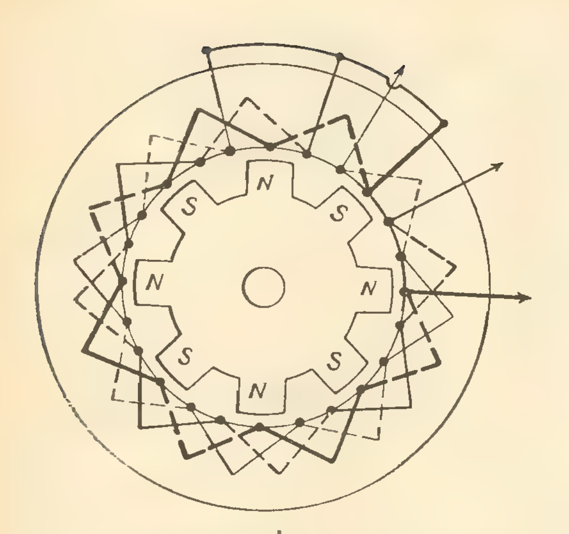
Фиг. 147. 8 полюсов; один канал на полюс и фазу: два стержня на канал. Обмотка зигзагообразная, волнообразная и петлеобразная. Обмотка применима для высокого напряжения, так как разность напряжений между стержнями одного и того же канала составляет лишь ничтожную часть общей разности напряжений.

В случае альтернаторов больших мощностей необходимо предусмотреть возможность сделать якорь разъемным для облегчения монтажа и перевозки. Для того, чтобы избежать необходимости устройства подковообразных катушек на месте соединений, что приходится делать после сборки машины на месте, необходимо:

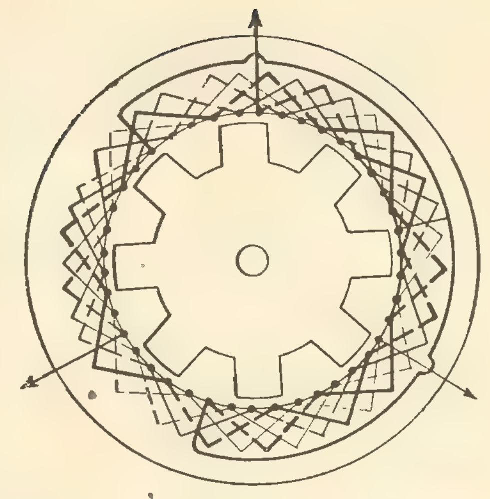
1) общее число катушек сделать кратным 2; с другой стороны, это же число должно быть кратным 3, т.-е. в общем оно должно быть кратно 6;

2) применить расположение катушек по типу, показанному на фиг. 171.

Примечание. Во всех обмотках этой категории число стержней каждой фазы должно быть кратно числу полюсов. Обмотка применяется преимущественно для низких напряжений. Для высоких напряжений предпочтительна зигзагообразная обмотка (см. фиг. 136b).




Фиг. 148. 8 полюсов; 1 канал на полюс и фазу; один стержень на канал. Волнообразная обмотка для каждой фазы в отдельности. Включение звездой.



Фиг. 149. Многополюсная последовательно-волнообразная обмотка (см. стр. 55 и 19). Формулы: $y = y_1 + y_2 = \frac{U+2}{p}$ ($y_1$ и $y_2$—числа нечетные); $\frac{y}{2}$ и $\frac{U}{2}$ —числа первые между собой. Дано: $U=42$, $2\,p=8$, $y = \frac{42-2}{4} = 10$, $y_1 = y_2 = 5$. Включение звездой; фазы раздельные. Обмотка эта применима только для малых напряжений, вследствие сложности изоляции, которая неизбежна при высоком напряжении, так как приэтом бывает необходимым помещать несколько стержней в одном и том же канале. Обмотка эта представляет еще и то затруднение, что она требует числа стержней, соответствующего обмоточным формулам и в то же время кратного числу 3 для получения симметричной обмотки.

## Специальные обмотки.

1. Однофазные альтернаторы. Может оказаться желательным исполнить обмотку с дробным числом каналов на полюс. Для этого достаточно принять за единицу какое-нибудь число, кратное числу пар полюсов, вместо простого числа пар полюсов. Так, напр., принимая 6 каналов на 4 полюса, получаем по $1^1/_2$ канала на полюс (фиг. 150); 10 каналов на четыре полюса дают $2^1/_2$ канала на полюс; 8 каналов на 6 полюсов дают $1^1/_3$ канала на полюс *b*. Чтобы использовать имеющиеся запасы готовых штампованных дисков из листового железа для якорей, приходиться иногда применять специальные обмотки. Так, напр., имея готовый якорь с тремя равноотстоящими каналами на каждый полюс, можно ограничиться заполнением обмоткой лишь каждой пары крайних каналов, получая, таким образом, катушку с шагом, равным $^2/_3$ полюсного шага (фиг. 152).

Имея четыре равноотстоящих канала на полюс, можно использовать из них лишь по паре каналов, чередуя каналы занятые обмоткой и пустые. Шаг равен $^1/_2$ полюсного шага (фиг. 153).

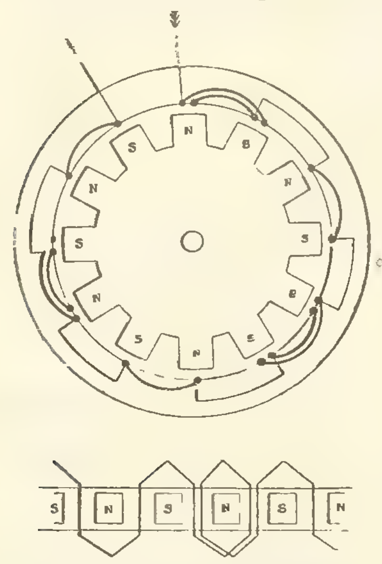
Могут быть реализованы и другие виды подобных коротких обмоток, но они дают кривую средней электродвижущей силы с острыми вершинами.

2. Двухфазные альтернаторы. *a*. Нормальные двухфазные обмотки имеют одну катушку на полюс, т.-е. за единицу принимается двойной полюсный шаг.

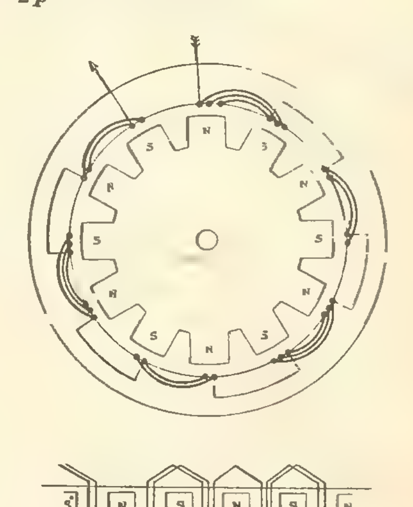
В машинах же, с числом полюсов кратным 6, можно осуществить обмотку с укороченными катушками, принимая за единицу утроенный полюсный шаг и укладывая на нем две катушки вместо трех, как в обмотке нормального типа (см. фиг. 154).

*b*. Можно также, исходя из схемы обмоток однофазного генератора, осуществить обмотки с $1^1/_2$, $2^1/_2$ .... каналами на полюс и фазу.

3. Трехфазные альтернаторы. *a*. Специальные трехфазные обмотки с дробным числом каналов в $1^1/_2$, $2^1/_2$ и т. д. канала на полюс и фазу можно получить, группируя на одном остове три однофазных обмотки в $1^1/_2$, $2^1/_2$ и т. д. канала на полюс, сдвинутые друг относительно друга на $\frac{3\pi}{2p}$ электр-градуса.

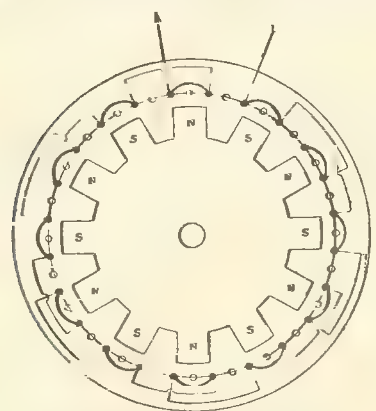


Фиг. 150. 12 полюсов; $1^1/_2$ канала на полюс. Обмотка применима только в машинах с числом полюсов кратным 4.

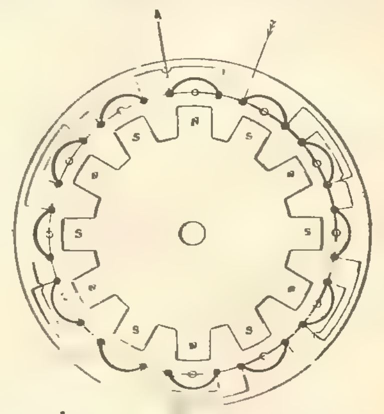


Фиг. 151. 12 полюсов; $2^1/_2$ канала на полюс. Обмотка применима только для машин с числом полюсов кратным 4 (см. стр. 65).

*b*. Нормальная катушка обхватывает один полюсный шаг или 180 электрических градусов, при чем катушки всех трех фаз захлестывают друг друга. Это захле-



Фиг. 152. 12 полюсов; 3 равноотстоящих канала на 1 полюс (из коих использованы 2). Одна катушка на полюс (шаг коей равен $^2/_3$ полюсного шага). Использование имеющихся штампованных дисков (см. стр. 65).



Фиг. 153. 12 полюсов; равноотстоящих 4 канала на полюс. (из коих использованы 2). Укороченные катушки оставляют свободной половину каналу, которая может быть использова для размещения другой фазы.

стывание может быть устранено соответствующим расположением смежных катушек Для этого необходимо иметь возможность на протяжении, соответствующем двой-

ному полюсному шагу или кратному двойному шагу, уложить число катушек кратное трем. Таким образом приходится осуществить обмотку с шагом катушки, несколько отличающимся в сторону увеличения или уменьшения от 180°.

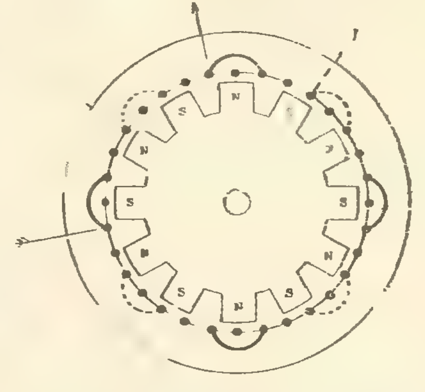
Изучение условий работы и формы кривой средней электродвижущей силы покажет инженеру допустимые отклонения.

Помещая, напр., три катушки на отрезке, равном двойному полюсному шагу, мы получим в этих катушках трехфазную электродвижущую силу.

Смещение сторон этих катушек будет равняться $^2/_3$ нормального полюсного шага. Подобный тип обмотки применим при всяком числе полюсов.

Точно также три смежных катушки, обхватывающих четыре полюса, будут иметь электрический шаг в 240° (фиг. 155); девять катушек, обхватывающих 8 или десять полюсов, будут иметь соответственно шаги в 160° и 200°.

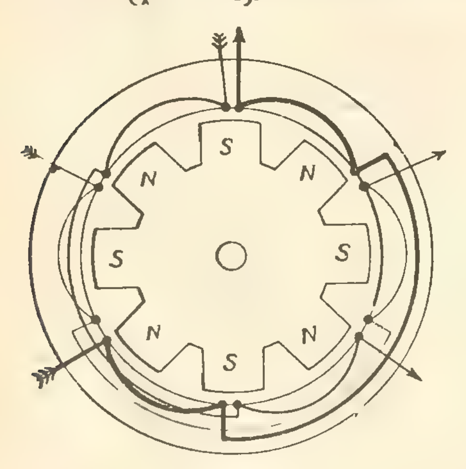
Подобное расположение катушек допустимо лишь в машинах, в которых число полюсов кратно 4, 8, 10 и т. д. Обмотка этого типа известна под названием «ползучей обмотки».



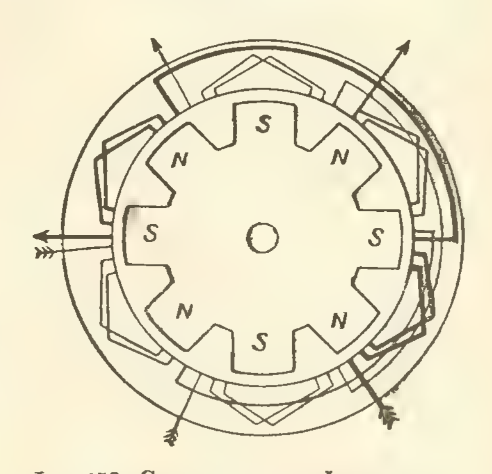

Фиг. 154. Двухфазный альтернатор со специальной обмоткой. 12 полюсов; 2 канала на фазу через каждые три полюса; 1-ая фаза:———; 2-ая фаза — — — Подобная обмотка применима лишь для машин с числом полюсов кратным 6. Трехфазная ползучая обмотка.

Каждая катушка может занимать несколько каналов, особенно в том случае, когда ширина ее больше полюсного шага.

Наконец, в случае стержневой обмотки катушки можно заменить петлеобразной обмоткой (фиг. 156).




Фиг. 155. 8 полюсов; 3 катушки на 4 полюса $^1/_2$ канала на полюс и фазу. Обмотка катушечная.




Фиг. 156. Специальная трехфазная ползучая обмотка; 8 полюсов; 3 катушки на 2 полюса; $1^1/_2$ канала на полюс и фазу; 2 стержень на канал.

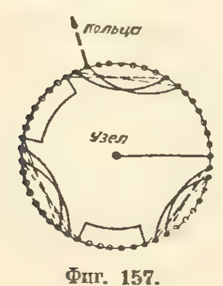
Обмотка роторов индукционных моторов. Во избежание резких колебаний магнитного потока рекомендуется дать ротору число каналов, отличающееся от числа каналов статора.

Некоторые авторы идут в этом отношении еще далее и рекомендуют, чтобы числа каналов ротора и статора были величины первые между собой.

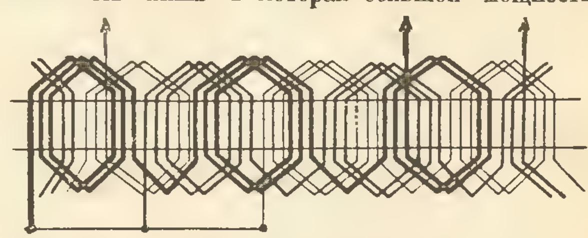
При коротко-замкнутой обмотке это условие легко осуществляется: труднее дело обстоит в моторах с контактными кольцами, так как статор этих моторов включает три самостоятельных цепи, каждая с целым числом каналов, а следовательно, число проводников всегда кратно 3.

Для удовлетворения поставленного выше условия выбирают число каналов на фазу, с одной стороны, и число каналов на полюс и фазу, с другой стороны, такими, чтобы они были числами первыми между собой. Возьмем, напр., статор с 12 полюсами, с 4 каналами на полюс и фазу. Давая ротору 5 каналов на полюс и фазу, мы соблюдаем одно из вышеприведенных условий, но числа каналов на фазу—48 и 60—не являются числами первыми между собой. Вместо 60 мы возьмем 59 или 61 канал, что даст нам $\frac{59}{12}$ или $\frac{61}{12}$ на полюс и фазу. Как и в случае альтернаторов, не рекомендуется спускаться ниже двух или даже трех каналов на полюс и фазу.

Роторы с контактными кольцами. Каково бы ни было число фаз питающего тока, ротору дают трехфазную обмотку. Индуцируемое в нем напряжение должно быть не высоко, увеличиваясь лишь в моторах большой мощности,



Фиг. 157.


Фиг. 158. Сложная обмотка петлевидная и волнообразная для мотора, имеющего 6 полюсов и 17 борозд на фазу.

что необходимо в целях уменьшения циркулирующего в обмотке тока. Для ротора представленного на фиг. 196, напряжение достигает 1800 вольт.

Обмотка бывает стержневая и проволочная; рассмотрим их последовательно.

*а*) Обмотка стержневая—может быть выполнена петлевой или волнообразной, или в виде катушек (см. стр. 58).

Фиг. 157 представляет пример петлевой обмотки для шестиполюсного мотора, с 17 каналами на фазу и с одним стержнем в пазу. На фронтальной проекции данной фигуры представлена лишь одна фаза. На фиг. 159 тот же ротор представлен с волновой обмоткой.

Фиг. 159. Волнообразная обмотка 6 полюсного мотора, 17 борозд на фазу.

Наконец, если число стержней позволяет, можно с их помощью осуществить многополюсную последовательную обмотку, эквивалентную кольцевой обмотке (см. пост. ток, стр. 19).

Три ответвления под углом в 120° к кольцам позволяют произвести переключение на треугольник или на звезду.

Для этой цели необходимо соблюдение двух условий:

1. общее число стержней $N$ должно быть кратно 3 для сохранения симметричности фаз,

2. число стержней $N$ должно удовлетворять следующему условию:

$$N = py \pm 2,$$

где $2p$ — число полюсов $y$ — четное число, при чем $\frac{y}{2}$ и $\frac{N}{2}$ должны быть числами первыми между собой (см. пост. ток. стр. 30).

При одном стержне в пазу, при нечетном числе пазов на фазу и при соединении звездой нейтральный узел находится на стороне оси противоположной кольцам.

При двух проводниках или двух групп проводников, расположенных друг над другом в одном пазу—тип обмотки, наиболее часто встречающийся в современных машинах—можно воспользоваться шаблонной обмоткой с одинаковым шагом всех катушек. Применяется обыкновенно шаблон для броневой обмотки.

*b*) Проволочная обмотка. Для возможности осуществить проволочную шаблонную обмотку необходимо, чтобы число проводников на паз было четное. Пакет проводников может быть тогда разделен на две равные части, расположенные одна над другой, причем обмотка получается либо броневая, либо разверточная.

Характер волны или петли относится, разумеется, к катушке, а не к элементарному проводнику. Обмотка по этой схеме требует, чтобы число пучков было вдвое больше числа пазов.

Обмотки этого типа применимы, разумеется, в роторах с открытыми пазами, позволяющими вводить готовые катушки. При закрытых или полузакрытых пазах обмотка производится вручную, при чем число пазов на фазу должно быть четным числом.

**Коротко замкнутый ротор.** Коротко замкнутые роторы распадаются на роторы в виде беличьего колеса и на собственно коротко замкнутые.

*a*) Роторы в виде беличьего колеса. Для роторов этого типа особой схемы обмотки, собственно говоря, не существует. Выбрав число пазов, укладывают в каждом из них по одному проводнику соответствующих размеров и концы проводников на обеих сторонах барабана соединяют накоротко металлическими кольцами (фиг. 160).



Фиг. 160.

*b*) Роторы с коротко замкнутой обмоткой. Роторы в виде беличьего колеса представляют то неудобство, что они имеют большое число мест пайки, которые могут подвергаться разрушению. При катушечной коротко замкнутой обмотке это неудобство в значительной мере устраняется, но, с другой стороны, сила тока во всех проводниках данной катушки имеет в каждый данный момент принудительно одну и ту же величину, и распределение ее не соответствует данному магнитному полю, следовательно, изменяется несинусоидально.

Если обмотка катушки производится вручную, каждая катушка требует двух каналов, и число каналов на полюс не может быть простым числом.

Чтобы осуществить простое число каналов, необходимо выполнить обмотку в два слоя с броневым или разверточным соединением.

Фиг. 161 дает обмотку четырехполюсного ротора с 15 каналами, включающими 15 замкнутых на себя петель.

Фиг. 162 представляет обмотку с 5 замкнутыми на себя волнообразными катушками, заполняющими 15 пазов для образования шестиполюсного мотора.

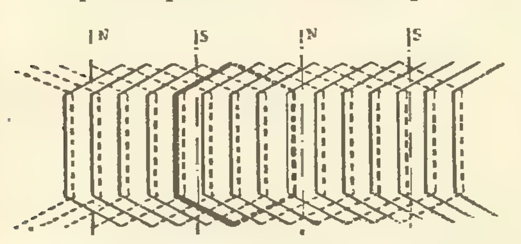
Подобные обмотки в два слоя могут быть осуществлены лишь путем изготовления соответствующих шаблонов и требуют открытых пазов.

Число полюсов асинхронного мотора. Число полюсов асинхронного мотора можно вычислить, зная скорость мотора при вращении вхолостую и зная число периодов питающего тока, как видно из следующего соотношения:

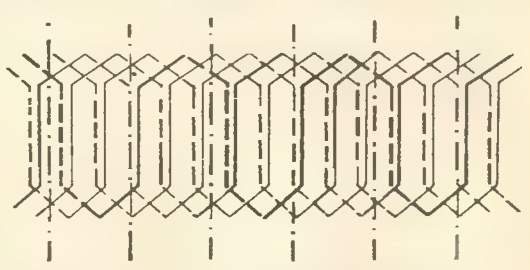
$$2p = \frac{120f}{N},$$

где $2p$ — число полюсов мотора, $f$ — число периодов в секунду, $N$ — синхронное число оборотов в минуту.

При отсутствии этих данных число полюсов может быть определено на основании рассмотрения обмотки статора.




Фиг. 161. Ротор четырехполюсного мотора, с 15 бороздами и 15-ю короткозамкнутыми петлями.



Фиг. 162. Ротор шестиполюсного мотора, с 15 бороздами и 5-ю короткозамкнутыми волнообразными петлями.

*В обмотках с одной катушкой на полюс и фазу, являющихся наиболее распространенными, число полюсов равно двойному числу катушек каждой фазы.*

Для определения числа полюсов мотора сперва определяют общее число катушек. При этом расчете каждая катушка слагается из элементарных концентрических катушек, заполняющих каждая два паза.

Фиг. 163.

На фиг. 163 одна полная катушка состоит из трех элементарных катушек, соединенных последовательно, и занимает, следовательно, 6 пазов.

Деля затем общее число катушек на число фаз, получаем число катушек на фазу; удвоенное последнее число дает число полюсов.

Положим, что требуется определить число полюсов статора для представленного на фиг. 243 ротора.

Мы насчитываем прежде всего 9 катушек одного типа; далее, имеются столько же катушек другого типа, т.-е. всего насчитывается 18 катушек на 3 фазы, или 6 катушек на фазу. Число полюсов, следовательно, будет равняться 12.

## ГЛАВА III.

## Выбор типа обмотки.

При изучении машин необходимо принять в расчет не только чисто электрические свойства, но также вопросы изготовления и изоляции для обеспечения надежной работы.

Рассмотрение всех факторов приводит к следующим общим выводам:

1. Для альтернаторов высокого напряжения:

*a*) обмотка катушечная (проволочная или кабельная),

*b*) число пазов на полюс и фазу должно быть невелико (самое большое три, для удобства конструкции и изоляции).

2. Для альтернаторов низкого напряжения:

*a*) обмотка предпочтительна катушечная для малых мощностей и стержневая — для больших мощностей,

*b*) возможно бо́льшее число пазов на полюс и фазу (три, четыре и даже больше, — для улучшения характера волны и уменьшении реакции якоря).

3. Для статоров индукционных моторов:

*a*) обмотка преимущественно катушечная,

*b*) не менее трех пазов на полюс и фазу (уменьшение рассеяния),

c. пазы закрытые или полузакрытые (по той же причине).

(4 Для роторов индукционных моторов:

*a*) обмотка стержневая,

*b*) число пазов должно удовлетворять подсчету (см. стр. 68),

*c*) пазы закрытые и полузакрытые.

Наконец, при современных условиях изготовления машин рекомендуется не превосходить напряжений в 500—600 вольт на катушку и 15.000 вольт как суммарного напряжения у (клемм) альтернатора.

Правильной надо признать тенденцию ограничиваться электродвижущей силой порядка 5000 вольт, возбуждаемой непосредственно машиной, и затем повышать это напряжение при помощи трансформаторов, которые представляют бо́льшее удобство в смысле осуществления и сохранения надежной изоляции.

Трансформаторы обладают между прочим и тем преимуществом, что в случае присоединения к воздушной линии они играют роль буферов, предохраняющих альтернатор от ударов перенапряжений постороннего происхождения.

# II. ПРАКТИЧЕСКОЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ.

## ГЛАВА IV.

### Проводники и пазы.

**Проводники.** Для машин переменного тока применяются проводники той же конструкции, что и для машин постоянного тока (см. стр. 33).

Обмотки бывают, как указано выше, проволочные, кабельные и стержневые.

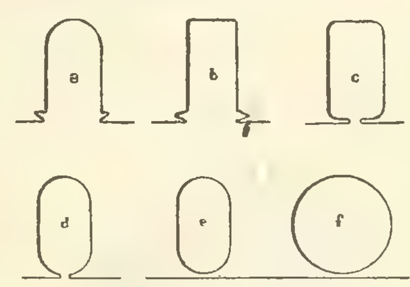
При ручной обмотке — проволочной или кабельной, обмоточный провод снабжается кроме того оплеткой, так как без последней бумажная обмотка подвергается опасности расплестись при последовательном пропускании через пазы.

Ручная обмотка требует часто, чтобы провод, идущий на образование одной катушки, был подразделен по своей длине на несколько секций; если длина провода превышает 10—15 метров, то на практике бывает чрезвычайно утомительно протягивать его многократно через пазы.

В виду этого при длине одного провода, превышающей указанный предел, его делят на секции, которые соединяют пайкой с заделкой изоляции.

При сечениях выше 300—400 *кв. мм* необходимо применять параллельную обмотку, при чем каждая ветвь должна иметь волнообразный характер во избежание выравнивающих токов.

**Пазы** бывают открытые, закрытые и полузакрытые (фиг. 164).



Фиг. 164. Различные формы пазов.

Открытые пазы позволяют производить укладку заготовленных шаблонным путем катушек, дают слабую самоиндукцию якоря, но с другой стороны представляют некоторые неудобства, а именно:

1) создают токи Фуко в полюсах,

2) искажают форму кривой средней электродвижущей силы,

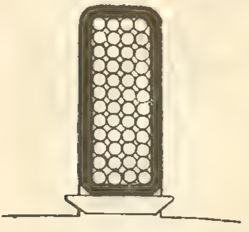
3) представляют затруднение в смысле закрепления в пазах катушек,

4) требуют особых мер для изоляции катушек — что будет рассмотрено ниже.

Полузакрытые пазы позволяют устранить вышеупомянутые неудобства, но требуют ручной обмотки и увеличивают самоиндукцию якоря.

**Изоляция для пазов.** Характер изоляции пазов меняется в зависимости от их формы. В случае закрытых и полузакрытых пазов в них прокладывают особые изоляционные трубки из миканита или пропитанной и прошеллаченной бумаги (фиг. 165).

Толщина трубок меняется с рабочим напряжением. Гобарт (Hobart) дает для них следующие цифры:



Фиг. 165. Изоляция паза.

| Рабочее напряжение | Толщина трубок |
|---|---|
| 500 вольт | 1,5 *мм* |
| 1000 „ | 2 „ |
| 2000 „ | 2,5 „ |
| 4000 „ | 3,5 „ |
| 8000 „ | 5 „ |
| 12000 „ | 6 „ |
| 16000 „ | 7 „ |

Если изоляционные трубки имеют ту же длину, что и пазы, то между обмоткой и корпусом якоря образуются короткие линии утечки, вследствие чего при высоких напряжениях может образоваться даже дуга. По этой причине рекомендуется, чтобы трубки выдавались по крайней мере на 1 *см* с каждой стороны железа.

Для напряжений, превышающих 500 вольт, возможная линия утечки должна быть удлинена на 1 *см* на каждую 1000 вольт, т.-е. общее удлинение трубки должно составлять 2 *см* на каждую 1000 вольт.



Фиг. 166. Миканитовая трубка с перегородками.

Для придания бо́льшей прочности местам выхода целесообразно обвязывать трубки и часть или все внешнее соединение крепкой лентой.

Одевать оболочкой всю обмотку было бы, однако, нецелесообразно, так как при этом уменьшилось бы охлаждение обмотки. В виду этого ограничиваются часто накладыванием двух или трех повязок — на изгибах и по середине.

Наконец, когда разность напряжений между отдельными слоями проводников в одном канале может достигнуть значительной величины, прибегают к миканитовым трубкам с параллельными перегородками или к прокладкам из пресшпана.

На фиг. 166 представлен пример трубки с миканитовыми перегородками, какие применяет завод Эрликона.

## ГЛАВА V.

## Практические формы катушечной и стержневой обмотки.

Мы рассмотрим здесь последовательно:

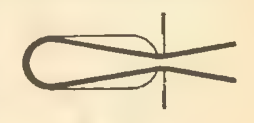
1) обмотку проволочную и кабельную;

2) обмотку стержневую.



Фиг. 167. Статор трехфазного асинхронного мотора.

**Обмотка проволочная и кабельная.** Быстрота и легкость изготовления и сборки требовала бы преимущественного применения шаблонной обмотки. Но укладка шаблонной обмотки возможна почти исключительно в открытых каналах. В моторах малого напряжения можно, однако, применять иногда шаблонную обмотку и при полузакрытых пазах, если только диаметр проволоки таков, что она свободно проходит через щель в пазу. Фиг. 168 представляет пример трехфазного мотора (завода Alioth), с подобной обмоткой. Катушки формируются на шаблоне, затем в нескольких местах перевязываются временной повязкой. В паз вкладывают изолирующую



Фиг. 168.

прокладку, как показано на фиг. 168, а затем просовывают рукой проволоку за проволокой одной стороны катушки. Затем повертывают свободную сторону катушки и таким же путем вводят ее в соответствующий паз. Торчащую из пазов изоляционную прокладку отрезывают на требуемой высоте и свободные концы закладывают внутрь паза. Небольшим деревянным клином закрепляют положение обмотки внутри паза и обвязывают лентой внешнюю ее часть. Легко понять, что, требуя такого исполнения, обмотка не имеет тех существенных преимуществ, которые представляет чистая шаблонная обмотка.

Но в случае машин высокого напряжения преимущество, которое представляет самостоятельное изготовление катушек на стороне, ослабляется тем, что получить хорошую изоляцию значительно труднее. В самом деле, чтобы ввести каждую сторону катушки в соответствующую миканитовую трубку, эту последнюю необходимо растянуть и открыть достаточно широко, чтобы свободно ввести обмотку, что вызывает ослабление трубки и может привести к нежелательным случайностям.



Фиг. 170. Статор трехфазного асинхронного мотора 450 л. с., 3200 вольт 330 оборотов, 18 полюсов.

**Формы катушек.** Чтобы иметь возможность ограничиваться одним типом катушек, прибегают к следующим приемам:

Фиг. 169.

1) Делают одну сторону катушки более короткой, чем другую (фиг. 169). Пример подобной обмотки в два слоя, выполненной по указанному способу, представлен на фиг. 170.

Статор асинхронного трехфазного мотора 450 HP — 3.200 вольт — 333 оборота в минуту, 18 полюсов (завода Томсон-Густон).

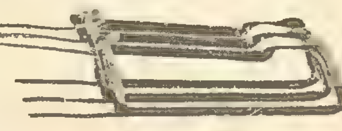
2) Загибают наружные соединения, как показано на фиг. 171, получая обмотку, напоминающую разверточную обмотку для машин постоянного тока.

Статор синхронного трехфазного мотора 1500 HP — 6400 вольт — 50 периодов, 12 полюсов, 500 оборотов в минуту (завод Alioth).



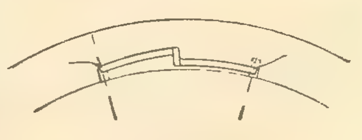
Фиг. 171. Статор трехфазного синхронного мотора 1500 л. с., 6400 вольт, 50 периодов, 12 полюсов, 500 оборотов в минуту.

3) В случае, когда каждая фаза заключает столько катушек, сколько полюсов, и обмотка может быть выполнена в два слоя, применяют броневую обмотку (фиг. 173).



Фиг. 172.

Соединение катушек по этому принципу требует меньшего расхода меди, чем в случае обмотки по фиг. 169.



Фиг. 173.

При полузакрытых пазах производство обмотки непосредственно на корпусе машины является уже неизбежным, и выполнение ее в виде катушек одного типа будет уже непрактично. Но даже в случае открытых пазов, если провод трудно сгибать, выгоднее отказаться

от единой, «вымученной» так сказать, формы, и применять расположение, указанное, напр., на фиг. 174 и 175.

На фиг. 174 показан статор без обмотки и рядом применяемые для его обмотки шаблонные катушки.

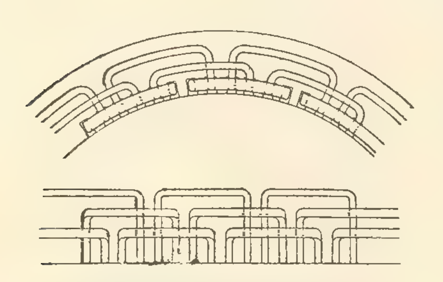
Фиг. 175 показывает тот же альтернатор в стадии незаконченного монтажа, а, именно, уложены длинные или так называемые загнутые катушки и приступают к укладке коротких или прямых катушек.



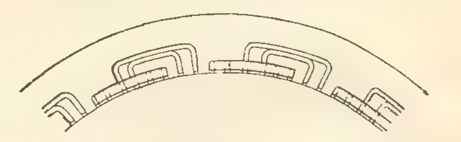
Фиг. 174. Станина альтернатора. Фиг. 175. Альтернатор в стадии сборки.
Статор альтернатора завода Société Alsacienne de Construction mécanique.

Такое расположение с катушками двоякого типа—одних прямых и других загнутых—применяется лишь в случае трехфазных обмоток с одной катушкой на полюс и фазу, так как в этом случае необходимо, как легко усмотреть из фиг. 176, расположить головки катушек в три ряда.

Так как, однако, в обмотках этого типа увеличивается число пунктов скрещивания отдельных катушек—чего следует, вообще говоря, избегать,—а вместе с тем усложняется работа по обмотке, то наибольшее предпочтение отдают обмотке с одной катушкой на пару полюсов и на фазу.



Фиг. 176. Обмотка трехрядная.



Фиг. 177. Обмотка двухфазная.

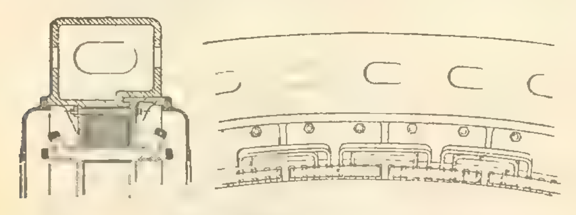
На фиг. 177 представлен пример применения катушек двух типов для двухфазного альтернатора.

Пример трехфазной обмотки представлен на фиг. 178, где с левой стороны показано кроме того сечение плоскостью, проходящей через ось статора, чтобы показать, насколько катушки выдаются за шайбы, стягивающие штампованные диски.

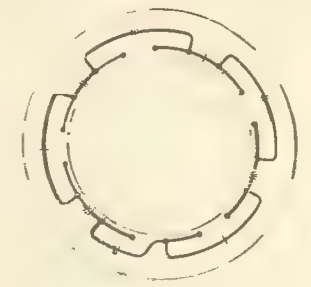
Число катушек трехфазного альтернатора должно быть очевидно кратно 3. С другой стороны для того, чтобы та же обмотка заключала столько же катушек прямых, сколько и загнутых, число их должно быть кратно 2, т.-е. в общем число катушек должно быть кратно 6.

Отсюда следует, что в случае, если число катушек не делится на 6, обмотка не может быть выполнена симметричной и одна катушка должна имет смешанную форму. Такие катушки и носят название смешанных (фиг. 179).

Если желательно избегать смешанных катушек, то решение заключается в применении катушек грех



Фиг. 178. Детали трехфазного альтернатора.

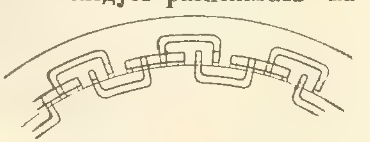


Фиг. 179. Альтернатор со смешанной катушкой.

форм (фиг. 180), но такое расположение имеет то неудобство, что оно мешает осевому смещению ротора и для того, чтобы вынуть последний, приходится разнять соединения и поднять верхнюю половину статора.

Фиг. 180.

По той же причине не следует располагать катушки по схеме фиг. 181, так как в этом случае пришлось бы для той же цели разобрать два соединения.



Фиг. 181.

## Обмотка стержневая.

Стержневая обмотка может быть:

1) волнообразная;
2) петлевидная;
3) смешанная;
4) катушечная (на подобие проволочной);
5) в виде беличьяго колеса.

С другой точки зрения можно различать обмотку:

*a*) однослойную и *b*) двухслойную.

Расположение в два слоя применяется преимущественно при волнообразной и петлевидной обмотках, а расположение в один слой—при катушечной.

**Обмотка двухслойная.** Порядок обмотки производится так же, как и в машинах постоянного тока, при чем тип броневой обмотки является наиболее распространенным.

Фиг. 182 и 183 показывают две части альтернатора (завода Эрликон) низкого напряжения с шаблонными секциями обмотки, представленными отдельно сбоку.

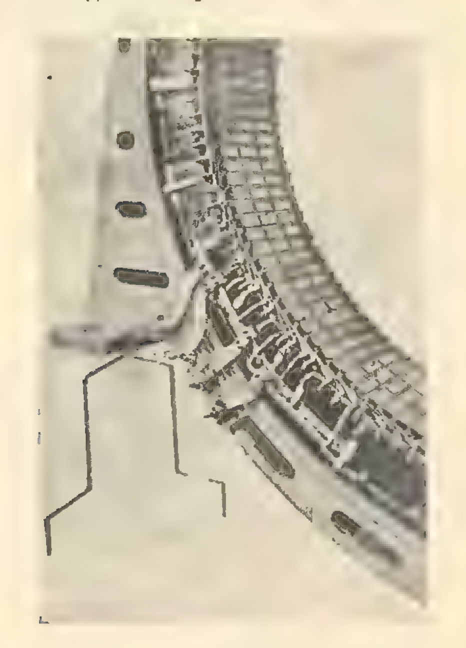
На фотографии можно различить нулевую клемму (наверху) и клеммы трех выведенных фаз.

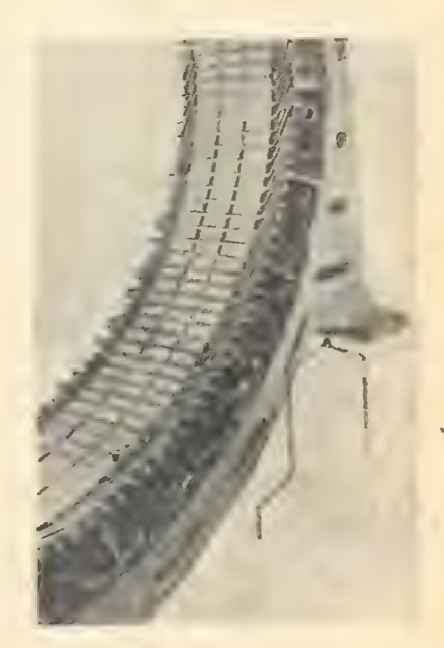
Каждая фаза состоит из двух параллельных цепей.

Оба ряда соединительных звеньев двухслойной обмотки ясно видны на фиг. 184. Сначала прокладывают стержни нижнего ряда, затем второго ряда и производят запайку соединительных стержней. Каждый паз вмещает четыре стержня, которые по их изоляции лентой группируются по два в изолирующей трубке.

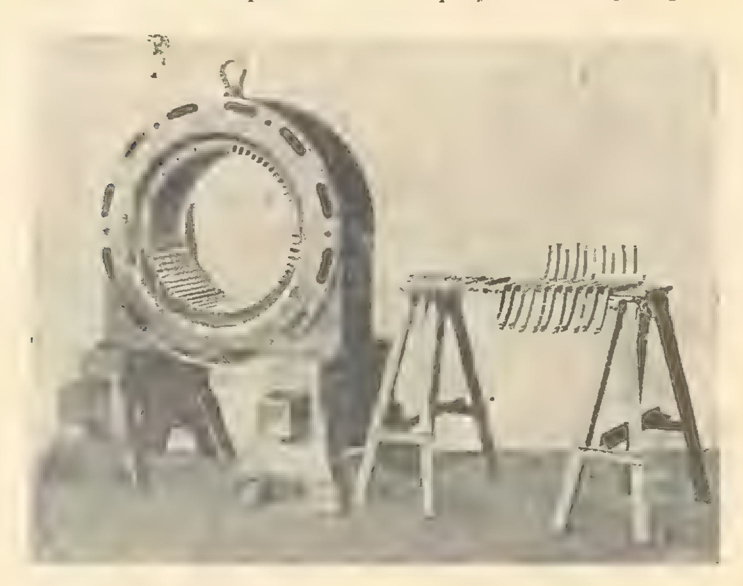
При полузакрытых каналах можно, во избежание необходимости изгибать стержни при их укладке, оставлять их с одной стороны прямыми, а весь шаг обойти на изогнутой стороне. Этим увеличиваются несколько выступы обмотки и вес меди, но самый монтаж облегчается.

Обмотка роторов индукционных моторов с двухрядным расположением стержней по внешнему виду ничем не отличается от обмотки якоря постоянного тока, как можно видеть на фиг. 185.





Фиг. 182—183. Стержневая обмотка трехфазного альтернатора.

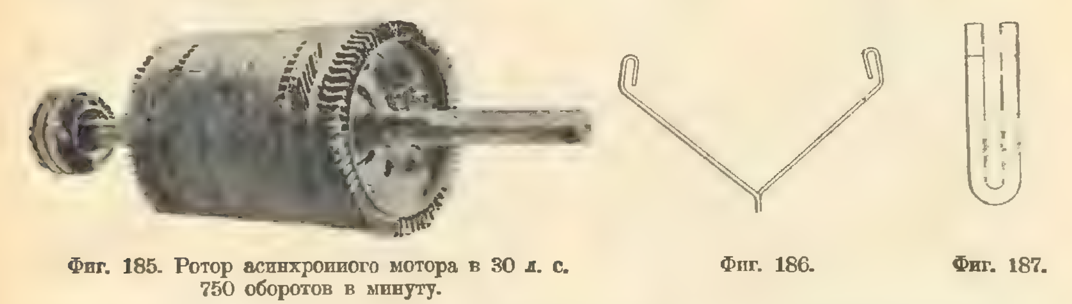


Фиг. 184. Обмотка, расположенная в двух плоскостях.

**Обмотка однорядная.** Обмотка со стержнями, расположенными в один ряд, требует соединительных дуг в виде буквы V, пример которой представлен на фиг. 186 и 187.

Обе ветви дуги расположены в двух плоскостях и чаще всего обхватывают стержень и припаиваются к нему с двух сторон.

Чтобы иметь возможность пользоваться стержнями одинаковой длины, один стержень припаивается к соединительной дуге ближе к корпусу, а другой стержень— к более удлиненной ветви. Легко также заметить, что три стержня по выходе из паза несколько раздвинуты один относительно другого, что делается с целью облегчить пайку и изоляцию концов.



Фиг. 185. Ротор асинхронного мотора в 30 л. с. 750 оборотов в минуту.

Фиг. 186.

Фиг. 187.

Катушечная стержневая обмотка ничем по существу не отличается от обыкновенной проволочной катушечной обмотки, разница лишь в практическом выполнении.

## ГЛАВА VI.

## Практическое выполнение обмоток.

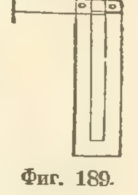
Как и в машинах постоянного тока, мы будем различать обмотку стержневую, с одной стороны, и обмотку проволочную или кабельную,—с другой.

**Стержневая обмотка,** как мы видели, бывает: однорядная и двухрядная.

Как и в машинах постоянного тока, двухслойная обмотка бывает волнообразная или петлевидная. При расположении в один слой обмотка может быть осуществлена: волнообразной, петлевидной и катушечной.



Фиг. 188.



Фиг. 189.

Для первых двух категорий требуются соединительные дуги в виде буквы V, благодаря которым обмотка напоминает разверточную обмотку.

Пример монтажа подобных соединений со стержнями якоря показан на фиг. 188—189.

Остается изучить способ изготовления катушек, составленных из стержней.

В случае открытых каналов, и если стержни имеют небольшое сечение катушки могут быть составлены из проводников одинаковой длины; для каналов же закрытых и полузакрытых требуется, чтобы катушка была составлена из нескольких секций, скрепляемых обыкновенно пайкой.

Катушки из проводников одинаковой длины. Конструкция подобных катушек ясно представлена на прилагаемой фотографии фиг. 190.

Здесь следует различать два случая:

1) стержни расположены в борозде плоскими сторонами один над другим,

2) стержни поставлены на ребро вертикально один рядом с другим.

Для прямых катушек сборка не представляет никаких затруднений.

Для загнутых катушек можно исходить из секций:

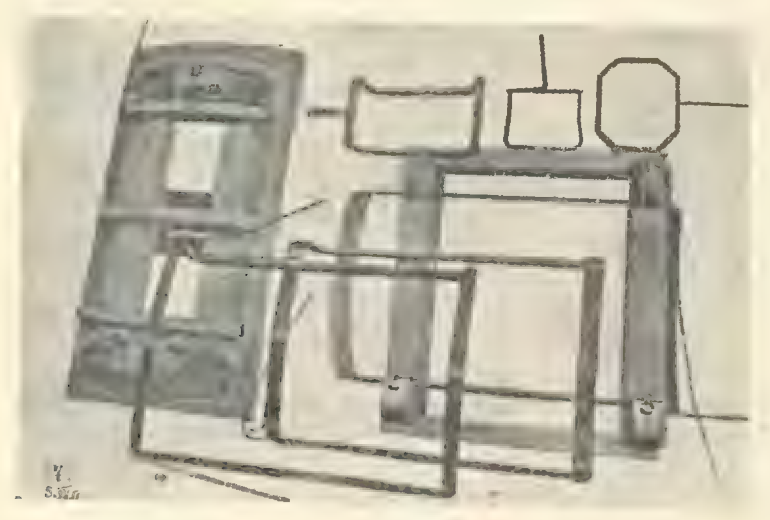
1) плосконамотанных,

2) намотанных на ребро.

Плоскорасположенные стержни. Когда размер в длину активной части катушки такого же порядка, как величина холостой части, исходят из секций, намо-

танных на ребро, при чем загибу подлежат холостые части; таков случай, представленный на фиг. 190.

Важно, чтобы витки каждой секции имели ступенчатое расположение для того, чтобы после загиба стержни накладывались друг над другом. Загиб производится при помощи особого шаблона, представленного на той же фотографии.



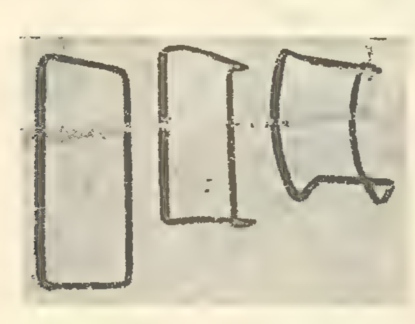
Фиг. 190. Шаблон для стержневой обмотки.

Напротив, в тех случаях, когда активная часть катушки мала (машина малого диаметра, с малым числом полюсов и большой угловой скоростью), пользуются обыкновенно плоской намоткой, при чем загибу подлежат короткие активные стороны катушки (фиг. 191).

Стержни поставлены вертикально друг возле друга. В противоположность тому, что было сказано выше, исходят из плосконамотанных катушек, если активная сторона имеет большой размер, и из катушек, намотанных на ребро,—в противном случае.

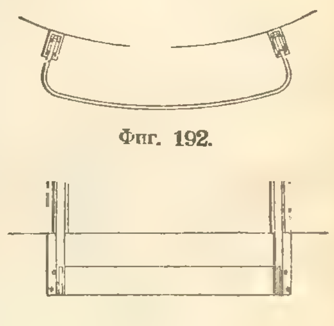
Катушка, представленная на верху и по середине фиг. 190, получена таким путем из плосконамотанных витков.

Катушки, составленные из нескольких частей. Подобные катушки состоят: из активных стержней и из наружных соединений, формируемых отдельно и скрепляемых с главными стержнями склепкой или спайкой.



Фиг. 191.

Обмотка этого типа представляет то неудобство, что для нее требуются соединительные звенья различных размеров, которых должно быть столько же, сколько имеется отдельных витков в катушке.



Фиг. 192.

Фиг. 193.

На фиг. 192 — 193 представлен способ сборки стержня с его соединительным звеном, а фиг. 194 — 195 представляют примеры альтернаторов и роторов с обмоткой, выполненной по этому способу.

**Проволочная или кабельная обмотка.** Устройство катушек меняется в зависимости от того, изготовляются ли катушки отдельно на шаблонах или непосредственно при сборке, на месте.

Первый случай соответствует открытым пазам, а второй—закрытым или полузакрытым пазам. Если проволока достаточно тонка, чтобы пройти через прорез полузакрытого паза, можно пользоваться смешанным способом обмотки, описанным выше (см. стр. 73).

Шаблонные катушки. Изготовление этих катушек не представляет никаких особых затруднений. Пример таких катушек представлен на фиг. 196.

Закончив обмотку на шаблоне, освобождают болты и сдвигают верхнюю доску, после чего снимают готовую катушку. предварительно скрепив проволоки повязкой.



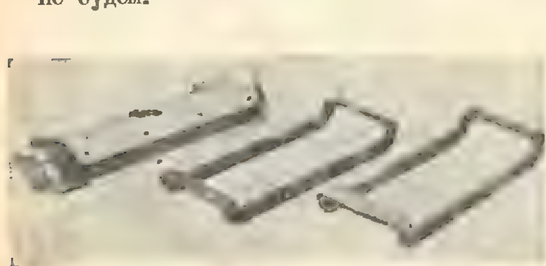
Фиг. 194. Статор асинхронного мотора 225 л. с., 220 вольт, 500 оборотов в минуту 12 полюсов.



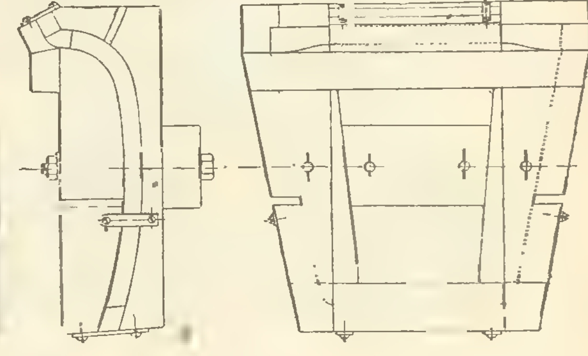
Фиг. 195. Ротор двухфазного асинхронного мотора 2250 л. с., 240 оборотов в минуту 42 периода.

Стороны катушки снабжаются миканитовыми трубками и обматываются лентой Покрытые специальным лаком и высушенные катушки могут быть непосредственно уложены в голых пазах.

Шаблоны для прямых катушек еще проще, и мы на них останавливаться не будем.



Фиг. 196. Шаблонные катушки.



Фиг. 197—198. Шаблон для альтернатора, представленного на фиг. 170.

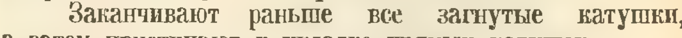
Для ускорения работ по изготовлению обмоток шаблоны можно установить на медленно вращающемся круглом столе, с управлением от ноги.

На фиг. 197—198 представлен шаблонный пресс для изготовления катушек для статора асинхронного мотора, показанного на фиг. 170.

Катушки, изготовляемые на месте обмотки. Прежде всего следует отметить, что с точки зрения порядка размещения витков в пазу можно поступать двояко:

1) располагать витки горизонтальными рядами (фиг. 199),
2) располагать витки вертикальными рядами (фиг. 200).

Первый метод заслуживает предпочтения в случае обмоток высокого напряжения, так как между проводниками смежных рядов разность напряжений получается при этом более слабая.

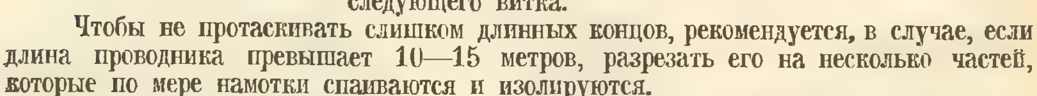


Фиг. 199—200. Расположение проводов в пазу.

Заканчивают раньше все загнутые катушки, а затем приступают к укладке прямых катушек.

Работу производят вдвоем: мастер продевает конец провода в паз, расправляет его по габариту, в то время как его помощник удаляется с свободным концом проволоки, натягивает ее и снова подает конец мастеру для следующего витка.

Чтобы не протаскивать слишком длинных концов, рекомендуется, в случае, если длина проводника превышает 10—15 метров, разрезать его на несколько частей, которые по мере намотки спаиваются и изолируются.

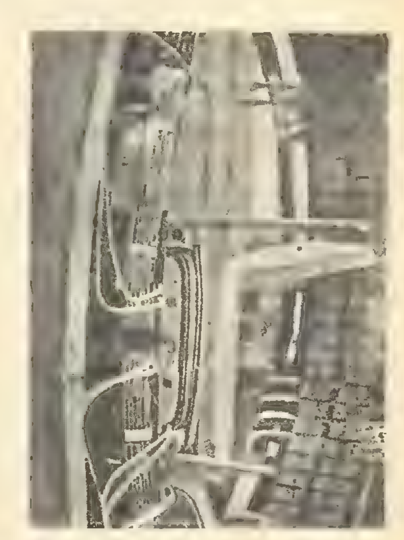


В случае если располагаемое для работы место ограниченно, можно вместо того, чтобы вытягивать проволоку по прямой линии, располагать ее широкими петлями в особых ящиках, которые специально устраиваются для этой цели возле стола.

Для того, чтобы уменьшить трение проводов друг о друга при протаскивании их через пазы, их натирают иногда парафином или воском; на практике, однако, это применяется не всегда. Наконец, в случае кабельной обмотки, конец кабеля оголяют и пропаивают заостренный кусок.

Фиг. 201 и 202 показывают нам обмотку катушек в двух последовательных стадиях работы. Здесь видны перегородки из фибры или картона, назначение которых разделять вертикальные ряды. Готовые катушки перевязываются в нескольких местах, чтобы сохранить их форму.





Фиг. 201—202. Альтернатор в стадии обмотки.

На фиг. 203 представлены шаблонные колодки, предназначенные для направления проволоки или кабеля, при укладке витков в пазах.

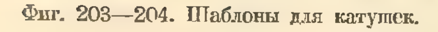
Правый шаблон предназначается для загнутых катушек, а левый—для прямых катушек. Шаблоны закрепляются во время работы и прижимаются к корпусу машины при помощи затяжек или винтовых домкратов. Указанные шаблоны соответствуют случаю двух пазов на фазу и полюс.

На фиг. 204 представлены шаблоны, применяемые на заводе Вестингауза для фасонных катушек в случае обмотки с 4 пазами на фазу и полюс.

Все эти приборы просты и прочны. Единственная мера предосторожности, которую нужно всегда иметь в виду, заключается в том, чтобы шаблон можно было по окончании обмотки легко снять, не повреждая катушек.

Поэтому шаблоны изготовляются в большинстве случаев из разъемных частей, скрепляемых винтами. Вертикальные щеки выдвигаются через верхнюю часть, а угольники между пазами и главной планкой выдвигаются в направлении оси машины. Устройство шаблонов еще более упрощается в случае прямых катушек.





Фиг. 203—204. Шаблоны для катушек.



Фиг. 205. Статор в стадии обмотки (завода Эрликон)

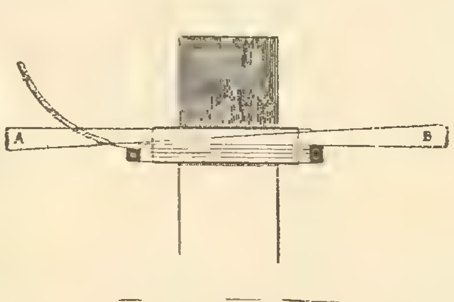
Прокладка проволоки в пазу. Для того, чтобы обеспечить прямолинейное направление провода внутри паза и чтобы придать каждому проводнику в отдельности соответствующее ему положение, пользуются следующими приемами:

Первый прием заключается в том, что пазы заполняются пучком железных проволок, имеющих диаметр, равный диаметру изолированного провода (фиг. 205).

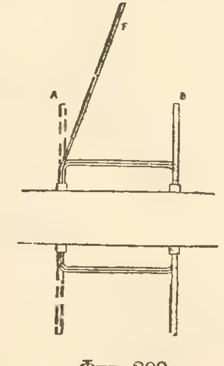
Перед тем как пропустить через паз провод вынимают соответствующий ему по положению железный стержень.

Другой прием основан на применении деревянных клиньев переменной высоты.

Фиг. 206. Клин для обмоток.




Фиг. 207. Расположение клиньев при обмотке.




Фиг. 208.

В случае обмотки из многочисленных тонких проволок может оказаться более выгодным применение двух групп клиньев, как, например, показано на фиг. 206.

Высота $h$ должна быть несколько выше высоты изолирующей трубки, а ширина $b$ клиньев—почти равна внутренней ширине паза.



Фиг. 209.

При помощи двух групп таких клиньев поддерживают в пазах, соответствующих двум сторонам данной катушки, необходимый уровень и тем устраняют возможность смещения проводов. Клин $A$, напр. (фиг. 208), не будет сдвинут, пока провод $F$ не будет пропущен через второй паз, уложен по шаблону и закреплен клином $B$.

Способ установки клиньев не безразличен, так как необходимо стремиться натянуть провод, в то же время выпрямляя его.

Рассмотрение фиг. 208 показывает, что для достижения этого результата мы должны сперва поместить часть $A$ и закрепить ее, после чего пропускают часть $B$ в направлении провода.

В случае небольшого числа проводников большого сечения можно пользоваться двумя или тремя простыми клиньями с слабым увеличением высоты. Далее, в случае обмоток с вертикальными перегородками, как это представлено на фиг. 209, клинья имеют толщину одной щели, через прочие же щели временно продевают деревянные планки.

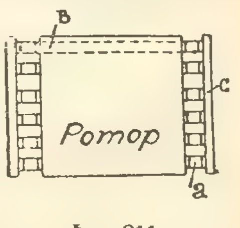
После того, как провод натянут от руки, закрепляют его на соответствующем месте при помощи клина из твердого дерева и ударами деревянного молотка.

Легкие латунные шаблоны, пример которых представлен на фиг. 210, применяются с успехом при массовой фабрикации малых моторов, в которых обмотка изготовляется из тонких, легко сгибаемых проволок. Наружные стороны катушек обыкновенно пропитываются шеллаком и затем обматываются лентой или перевязываются в нескольких местах шнуром.

Фиг. 210. Латунный шаблон.

Обмотка роторов. Обмотка в виде беличьего колеса является одной из самых простых.

Современная заводская тенденция в отношении производства этих моторов заключается в полном устранении изоляций в виде бумаги, картона и т. п.




Фиг. 211.

В Америке в настоящее время изолируют листы, из которых собираются моторы, особым лаком, который хорошо противостоит нагреванию. Голые стержни укладывают непосредственно в пазы, и концы привариваются автогенной сваркой к двум наружным кольцам. Отсутствие воспламеняющихся изолирующих материалов позволяет нагреть всю группу проводников, чтобы одновременно их приварить к кольцам. Иногда применяют электрическую сварку, которую осуществляют следующим путем (фиг. 211).

У концов стержней прокладывают стержневые отрезки $a$, а затем при помощи специального сварочного трансформатора пропускают через цепь, состоящую из

венца *C*, отрезка *a* и стержня *B*, ток достаточной силы, благодаря которому происходит автогенная сварка этих частей; далее переходят к следующему стержню и т. д. Во время сварки соединительные куски *a* удерживаются на месте при помощи клещей.

Пайка оловом представляет неудобство недостаточной механической прочности и требует осторожности. Далее, припой плавится при сравнительно низкой температуре, и поэтому при случайном плохом контакте может произойти распайка, и если не приняты механические меры предосторожности, то под влиянием центробежной силы могут произойти тяжелые последствия.

Стержневая обмотка роторов выполняется по принципу, указанному для моторов постоянного тока, т.-е. в два ряда.

В случае же обмотки проволочной или кабельной, так как пазы при этом бывают полузакрытого или почти полностью закрытого типа, обмотка производится вручную, так как шаблонные катушки не могут быть введены целиком в паз. Специальные хомутики, привинчиваемые параллельно оси по краям ротора, и изолированные снизу, предохраняют катушки от возможности смещения. Вместо хомутиков можно воспользоваться изолированными кольцами, к которым прочно прикрепляют головки катушек.

Некоторые особенности обмоток генераторов, соединенных с паровыми турбинам. Паровые турбины работают, как известно, с очень большими скоростями. Принимая во внимание, с одной стороны, что в промышленности принято число периодов, не превышающее 50 в сек., и что, с другой стороны, число полюсов не может быть меньше 2, мы находим, что число оборотов альтернатора переменного тока ограничено максимальным пределом в 3000:

$$f=\frac{p\cdot N}{60},\ \text{откуда}\ N=\frac{f60}{p};$$
$$f=50,\quad p=1\quad N=3000.$$

При том же числе периодов в 50 и при 4, 6 и 8 полюсах число оборотов соответственно уменьшается до 1500, 1000 и 750 в минуту.

Столь значительная скорость вращения требует при конструкции машин принятия особых мер для устранения двух главных связанных с этим механических затруднений.

Во-первых, в виду большой центробежной силы требуется особо прочное закрепление на месте обмоточных катушек в якорях или роторах турбо-генераторов.

Во-вторых, для того, чтобы при столь значительных угловых скоростях окружная скорость не превосходила допустимой, с точки зрения прочности материалов, величины, роторам приходится придавать малые диаметры.

По сравнению с альтернаторами той же мощности, но большего диаметра, у них имеется поверхность охлаждения, недостаточная для удаления тепла, развивающегося за счет внутренних потерь, в результате чего могут получиться повышения температур, опасные для изоляции.

Вследствие сказанного, в этих машинах приходится устраивать искусственную вентиляцию, что ведет к обязательному устройству вентиляционных каналов как в статоре, так и роторе таких размеров, которые обеспечили бы полную отдачу потерянного тепла.

Наконец, имеется третья категория затруднений, преимущественно у альтернаторов, связанных как с их большой мощностью, так и с их сравнительно малым числом полюсов, в результате чего получаются высокие величины магнитного потока на полюс и напряжения на катушку. Речь идет о разрушительных действиях, которые в таких случаях может дать короткое замыкание.

В случае короткого замыкания развиваются значительные силы притяжения или отталкивания, которые стремятся деформировать обмотку и пробить изоляцию. Эти силы являются результатом динамического взаимодействия как между проводниками смежных катушек или витками одной катушки, так и взаимодействия между

этими проводниками и магнитным потоком статора и ротора. Эти действия будут тем интенсивнее, чем выше ток короткого замыкания и чем меньше, следовательно, общая реакция якоря, включая реакцию поля рассеяния. Если, однако, увеличить только общее реактивное действие якоря для уменьшения силы тока, не увеличивая в то же время реакцию поля рассеяния, то мгновенная сила тока короткого замыкания, которая главным образом и интересует нас с точки зрения максимального электромагнитного воздействия, не будет этим уменьшена.

Не следует упускать из виду, что магнитная инерция железа ведет к кажущемуся уменьшению магнитной проницаемости, которая притом падает тем сильнее, чем резче колебания силы тока, и становится особенно большой при том числе периодов, которое связано с явлением короткого замыкания. Для таких токов присутствие железа является препятствием для усиления реакция якоря, что, напр., служит основанием, почему предохранительные катушки самоиндукции изготовляются без железного сердечника.

Электромагнитные воздействия зависят также от расстояния и углового отклонения между соседними элементами, при чем силы притяжения или отталкивания достигают максимальной величины, при сохранении прочих условий, когда взаимодействующие элементы параллельны между собой и возрастают по мере уменьшения расстояния между ними.

На практике стремятся не только избегать сколько-нибудь заметных деформаций обмоточных катушек, но даже предупредить малейшее их смещение. Подобного рода движения вредно отзываются на изоляции, а при повторных коротких замыканиях они не замедлят вызвать механические повреждения.

В докладе комиссии по улучшению качества материалов Союза Электротехнических Синдикатов (во Франции) было констатировано, что, несмотря на успехи последних лет, в конструкции для усиления головок катушек и проводников у места выхода из борозд, остается еще много сделать в этом отношении. Насчитывается много несчастных случаев, обусловленных образованием дуги между железом статора и проводником у места выхода из борозды; наиболее вероятной причиной является разрыв в этом месте изолирующей трубки.



Фиг. 212. Статор альтернатора в 5000 киловатт, 1500 оборотов в минуту, 6000 вольт.

Необходимо также избегать вибраций ротора, для чего последний должен быть тщательно выбалансирован. Наконец, обмотка ротора содержит изоляционные материалы, которые могут сместиться под влиянием центробежной силы, что также необходимо иметь в виду при выборе конструкции.

Статор. В целях ослабления вредных эффектов коротких замыканий в современной электротехнической практике наблюдается тенденция осуществлять возможно более равномерно распределенную обмотку, на подобие разверточной обмотки моторов постоянного тока.

Обмотка слагается из двух частей, при чем наружные соединительные звенья располагаются в два слоя (фиг. 112).

Равномерное распределение проводников, уменьшая местные вредные напряжения, способствует ослаблению максимальных усилий на головки катушек в случае

короткого замыкания. Далее, совокупность соответственным образом подобранных проводников каждого из двух рядов наружных соединений образует менее деформируемое механическое целое: желательное расстояние между обоими слоями поддерживается легко при помощи соответствующих прокладочных клиньев.

Усилия, которые возникают в звеньях одного слоя под влиянием токов в смежных проводниках, а также под влиянием на них же токов, циркулирующих в обратном направлении в проводниках второго ряда, сводятся в общем к сжатию изолирующего материала, каковым напряжениям собранные в сплошной ряд проводники сопротивляются лучше, чем отдельные катушки.

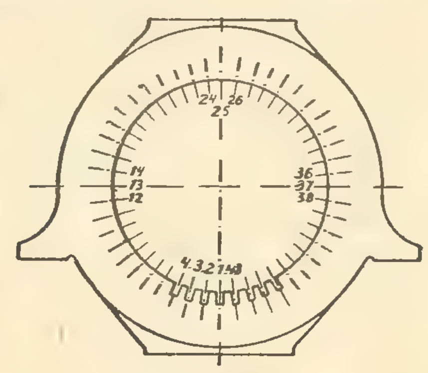
Далее, при этом способе монтажа, благодаря прочному скреплению соединительных звеньев с главными проводниками, разгружаются механические, обусловливаемые электромагнитными взаимодействиями, притяжения и отталкивания между током и полем ротора и статора, а также взаимодействием между угловыми токами в соединительных звеньях и токами в частях катушек, лежащих в бороздах.

Наконец, симметрия обмотки устраняет всякие круговые токи вокруг вала. Действительно, не следует упускать из виду, что в головках катушек циркулируют многочисленные элементарные токи, и что поэтому должны быть приняты меры, чтобы магнитные действия этих элементарных токов на магнитную цепь, состоящую из вала, фланца якоря и станины, взаимно уравновесили друг друга, так как в противном случае мы будем иметь как бы железный сердечник со спиральной катушкой, по которой протекает ток, и связанные с этим явлением паразитные магнитные потоки и дополнительные потери энергии.

Полная симметрия указанных выше двух рядов проводников, в которых в каждый данный момент протекают элементарные токи, равные и прямопротивоположные по направлению, устраняет всякую опасность в этом отношении.

Примеры обмоток. Фиг. 213—226 относятся к случаю генератора паровой турбины, обладающего следующей характеристикой: мощность 6.000 квт, напряжение — 10.500 вольт, число оборотов—3.000, число периодов — 50.

Фиг. 213. Статор трехфазного альтернатора в 6000 киловатт, 10500 вольт, 3000 оборотов в минуту, 50 пер. (начальная стадия обмотки).



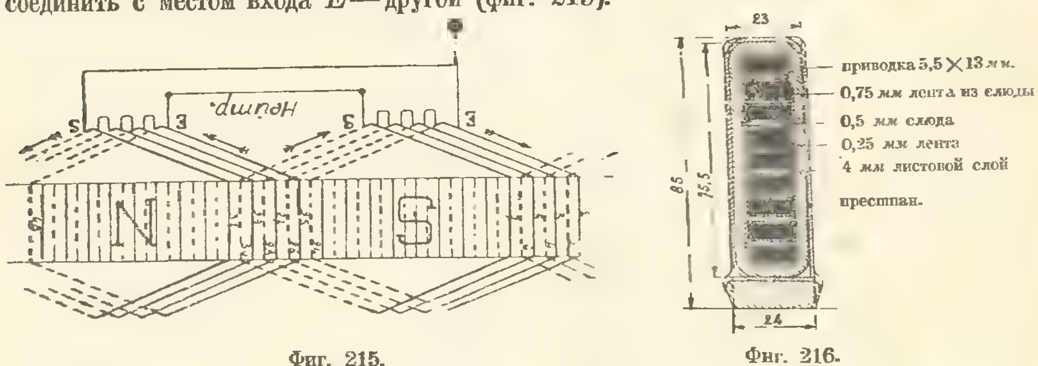

Фиг. 214.

Статор имеет 48 борозд (фиг. 214). Ротор — двухполюсный.

Обмотка состоит из двух катушек на фазу, при 8 бороздах на полюс и фазу. Таким образом, на полюс и фазу приходятся 4 катушки, соединенных последовательно (фиг. 215).

Каждая катушка занимает две борозды и содержит 9 витков (фиг. 216). Обе катушки одной фазы затем соединяются параллельно, т.-е. каждая катушка развивает полное напряжение генератора.

Так как обе подлежащие параллельному включению катушки находятся под действием разноименных полюсов, то необходимо место выхода одной катушки $S$ соединить с местом входа $E$ — другой (фиг. 215).



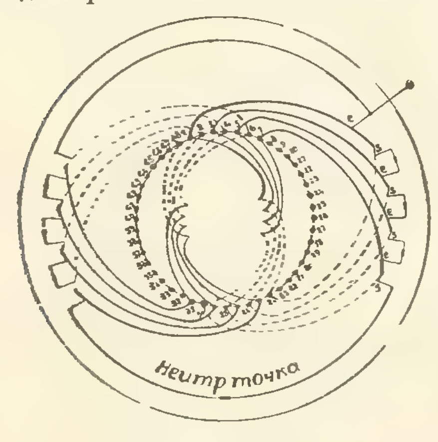

Фиг. 215.

Фиг. 216.

В промежутке между сторонами катушки одной фазы находятся 16 каналов, предназначенных для двух других фаз.

Фронтальная проекция одной фазы представлена на фиг. 217.

Кривые линии в центральной части статора показывают наружные соединения катушек. Как видно из рисунка, статор имеет наружные соединения двух типов. Первая часть, представленная на рисунке сплошной чертой, находится на передней стороне по отношению к наблюдателю; вторая же часть, изображенная пунктирной линией, представляет вторую группу соединений, расположенных позади первой.




Фиг. 217.



Фиг. 218.

Эта плоскость видна на фиг. 213, на которой представлена начальная стадия обмотки.

Фиг. 218, относящаяся к другому альтернатору с такой же обмоткой, показывает первый слой обмотки в законченном виде.

Вторая часть соединений, направление которых будет прямо противоположно направлению первых, займет место временно поставленных зажимных клиньев.

Болты и траверсы, которые служат для скрепления катушек, разумеется, изготовляются из немагнитного металла, напр., из бронзы, во избежание образования вокруг этих проводников замкнутых магнитных цепей.

Фиг. 219 дает внешний вид законченной обмотки альтернатора.

Для усиления прочности соединений иногда соединяют бронзовые болты попарно сегментами из того же металла, образующими в совокупности замкнутое кольцо вокруг вала. Это кольцо кроме того, что оно придает добавочную жесткость системе, играет роль глушителя случайных паразитных магнитных потоков.

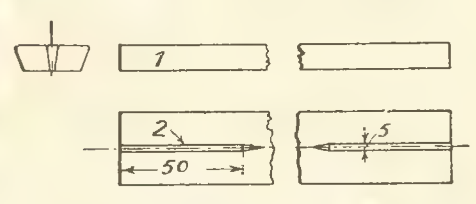
Такой же виток, состоящий, однако, из сплошного кольца, представлен на фиг. 219, относящейся к генератору с обмоткой раздельными катушками.



Фиг. 219. Статор турбогенератора в 3500 киловат, 6600 вольт, 50 пер., 1500 оборотов в минуту.

Детали конструкции. Фиг. 220—227 дают некоторые конструктивные детали обмотки генератора в 6.000 квт, представленного на фиг. 213. В каждой борозде (фиг. 216) уложено 9 проводников прямоугольного сечения 5,5 × 13 *мм* с закруглениями радиусом в один миллиметр.

Последовательность изолирующих прокладок видна из рисунка.




Фиг. 220. Деревянный кл[illegible]н со шпонкой.

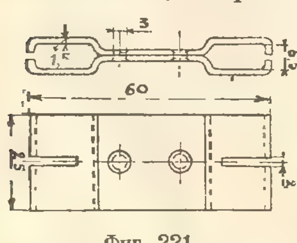
Для испытания изоляции всякая катушка перед ее прокладкой подвергается следующим напряжениям:

1) На длине железа в 1600 *мм* ее подвергают в течение 5 минут напряжению в 27000 вольт, т.-е. испытывают напряжением, в 2,5 раза превышающим нормальное напряжение машины.

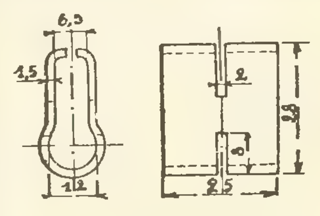
2) Головки катушек испытывают в течение 1 минуты двукратным нормальным напряжением, т.-е. напряжением в 22000 вольт.

3) Каждую пару проводников — напряжением в 11000 вольт, т.-е. нормальным напряжением генератора.

Клинья для борозд приготовляются из дерева твердой породы. Две шпонки, загоняемые с обеих сторон главного клина борозды, обеспечивают надежное закрепление.




Фиг. 221.



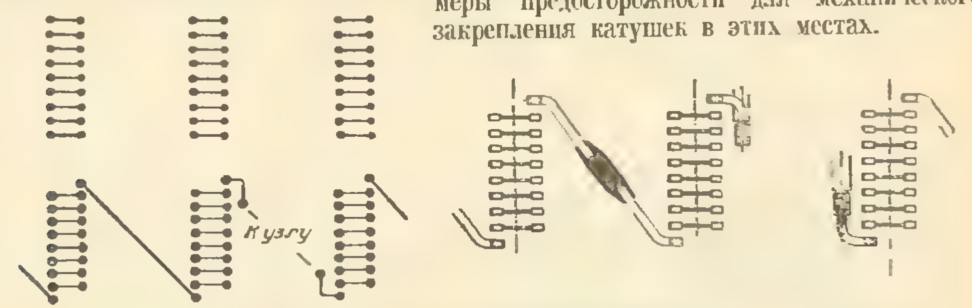

Фиг. 222.

Фиг. 221—224 дают представление о способах соединения половинок катушек для образования целой катушки и для соединения катушек между собой. Эти соединения производятся при помощи специальных штампованных наконечников из красной меди.

Наконечники типа, представленного на фиг. 221, служат для образования передних и задних соединений.

Схема соединения передних и задних рядов дана на фиг. 223, и, наконец, на фиг. 224 представлены детали нескольких соединений. Само собой разумеется, что все соединения запаиваются кроме того оловом.

Как мы уже упоминали выше, повреждения чаще всего вызываются разрывом изоляции у места выхода из железа, вследствие чего должны быть приняты особые меры предосторожности для механического закрепления катушек в этих местах.




Фиг. 223—224. Способы соединения витков.

Фиг. 225 и 226 относятся к приспособлениям, предусмотренным в этом отношении в изучаемом нами альтернаторе. Они состоят из бронзовых пластин $M$, соответствующих каждая восьми бороздам. Эти пластины закрепляются каждая двумя прочными болтами с шестигранными головками. С каждой стороны они имеют соответственно бороздам U-образные выступы. Чтобы обеспечить надежную изоляцию между этими бронзовыми выступами, прокладываются U-образные слюдяные листки, обмотанные изоляционной лентой




Фиг. 225. Фиг. 226.

На той же фиг. 225 показано, как располагаются проводники по выходе из полукатушки, чтобы совпасть с такими же концами соответствующей ей парной полукатушки.

Фиг. 228—230 показывают, как можно видоизменить альтернатор катушками двух размеров в альтернатор с однородными катушками.

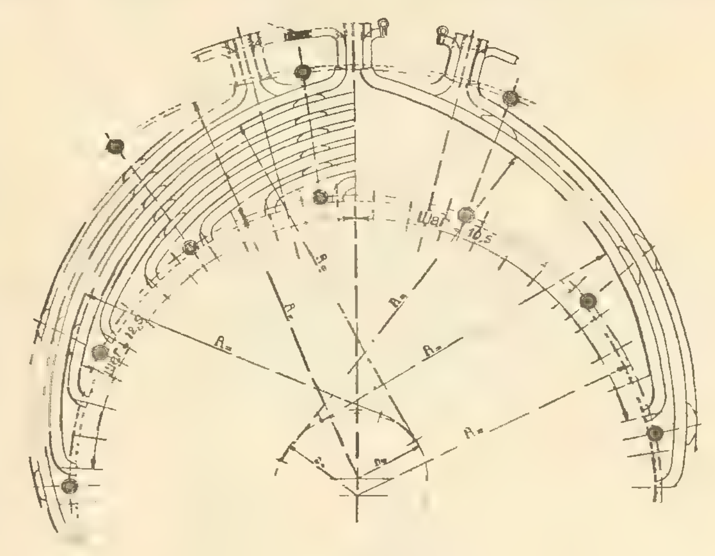
Этот трехфазный альтернатор имеет 84 борозды и 4 полюса, т.-е. 7 борозд на полюс и фазу.

Фиг. 228 представляет схему обмотки, осуществленной с катушками двух размеров, а фиг. 229 — ту же обмотку, но видоизмененную для катушек одного размера.

Фронтальная проекция фиг. 230 в верхней половине соответствует обмотке, осуществленной по первой схеме, а в нижней половине — второй. Легко заметить, что если для первого случая нужно было бы привести плоскость стыка $AB$, то для второго случая нумерацию борозд следует сместить так, чтобы эта плоскость сместилась в $C—D$.

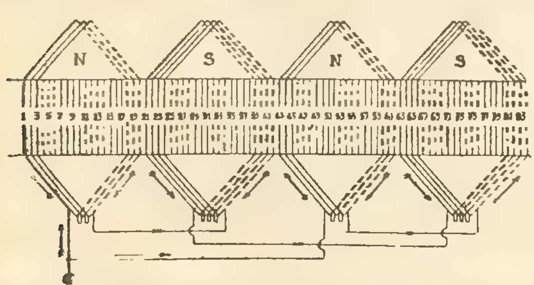
Черные кружки показывают места расположения скрепляющих болтов в том и другом случае.

**Способы изоляции.** Было бы ошибочно в отношении изоляции принимать одни и те же коэффициенты надежности для всякого рода генераторов независимо от особенностей сетей, которые они питают.

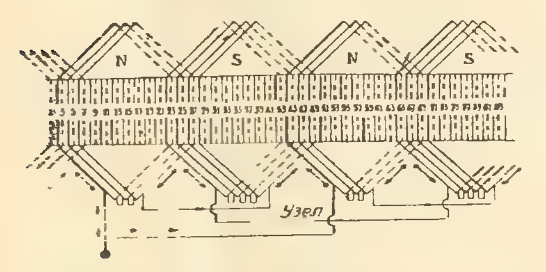


Фиг. 227.

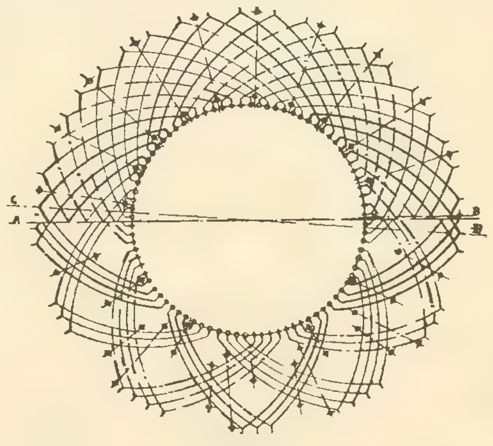
Тожественные генераторы, присоединенные к различным сетям, в эксплоатации ведут себя часто различным путем. Поэтому, как правило, нельзя ограничиваться одними и теми же нормами при разных условиях работы для турбо-генераторов, которые не являются такими ходовыми массовыми машинами, как моторы, малые трансформаторы и т. д. Так как, с другой стороны, доказано, что эти машины более подвержены случайностям, то правильно будет требовать для них более надежной изоляции, чем для обычных ходовых машин рыночного типа. Было время, когда одну из причин повреждений изоляции видели в разрушающем действии озона и азотистых соединений, образующихся за счет воздуха внутри изолирующих трубок. Комиссия, о которой упоминалось выше, придает мало значения этим влияниям и рекомендует преимущественно обмотки, подвергшиеся обработке в печах с вакуумом и пропитанные под давлением изолирующими веществами, заполняющими все промежутки между изолирующей трубкой и проводником, одновременно превращаясь в твердое состояние. При этом для получения удовлетворительных результатов необходимо, чтобы применяющиеся изоляционные вещества оставались твердыми при температурах, несколько превышающих 100° С.




Фиг. 228. Развернутая схема обмотки соответств. нижней части фиг. 230.




Фиг. 229. Развернутая схема обмотки соответств. верхней части фиг. 230.



Фиг. 230.

Рекомендуется также усилить изоляцию между витками статора и применять для этой цели невоспламеняющиеся вещества в качестве изоляции от корпуса; многие повреждения являются следствием разрушения изоляции под влиянием нагревания или перенапряжения или под влиянием обеих причин вместе взятых.

Наконец, необходимо обратить особое внимание на изоляцию головок катушек и перекрывать их несколькими слоями лака высокого качества, образующего водонепроницаемую оболочку.

**Нормы испытания.** Изоляция. Пробное испытание на диэлектрическую прочность для ходовых машин производится двухкратным нормальным напряжением +1000 вольт; в случае турбогенераторов, предназначенных для питания нормальных центральных станций, изоляция проверяется напряжением, в $2^1/_2$ раза превышающим нормальное, в случае же сетей, которые по характеру их службы более подвержены случайностям, изоляция проверяется трехкратным напряжением.

Небесполезно будет подчеркнуть, что материал, идущий на пропитку обмоток, должен оставаться в твердом состоянии при температуре, несколько превышающей 100°.

Настоятельно рекомендуется проверить изоляцию между катушками, взяв на выбор одну или две секции во время сборки и испытав их нормальным напряжением машины.

Нагревание. Для ротора возможность проверки средней температуры нагревания по сопротивлению является достаточной гарантией и средний предел в 90° С, принятый для проводников с бумажной пропитанной изоляцией, должен быть соблюден и здесь.

Указатели температур (термоэлектрические или другие) монтируются в статоре для проверки во время сборки. Несколько указателей, во всяком случае не меньше двух, монтируются в головках катушек, при чем крайний предел максимальной температуры не должен превышать 90° в пункте, который более всего нагревается.

Следующие указатели температур, числом не меньше 4, монтируются в пазах, у наружных стенок изолирующих трубок, в плоскости симметрии, перпендикулярной к оси вращения, или в плоскости, в которой, по каким-либо соображениям, можно предполагать что нагревание происходит более интенсивно, и, разумеется, в тех пазах, которые сильнее перегреваются, если есть основание предполагать, что не все пазы работают при одинаковой температуре.

Если на паз приходятся две изолирующие трубки, то половина испытаний производится между этими трубками, при чем средняя температура не должна превосходить 95°.

Прочие указатели температур монтируются в различных точках изолирующей трубки, между корпусом и трубками и между закрывающим паз клином и трубкой. Предельная температура, как указано выше, не должна превышать 90°. Эта цифра предполагает, однако, применение в качестве изолирующаго материала пропитанной хлопчатобумажной ткани или пропитанного картона, и разумеется, что в случае пользования другими изоляционными материалами температура не должна превышать пределов, допущенных для них нормами испытания.

Небезинтересно одну или две пробы на температуру взять между штампованными дисками корпуса, чтобы определить имеющее здесь место нагревание.

Во всех случаях рекомендуется производить определение средней температуры обмотки статора по способу измерения сопротивления, принимая возможные меры предосторожности для учета охлаждения во время перерывов.

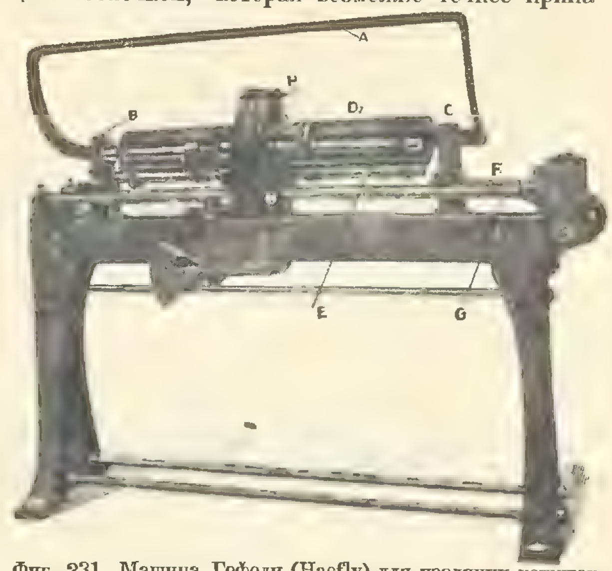
Испытание на короткое замыкание. Некоторые исследователи придерживаются взгляда, что при приемке следует делать испытание на внезапное короткое замыкание готового альтернатора, поставленного в условиях эксплоатации, для проверки механической части, прочности закрепления обмоток и т. д.

Надо, однако, указать, что такое испытание представляет в общем больше неудобств, чем выгод, как для альтернатора, так и для турбины.

Способ Гефели (Haefely). Во Франции большая часть конструкторов приняла в настоящее время способы изоляции альтернаторов и предназначенные для этой цели машины, предложенные заводом Гефели (Haefely de Bâle).

Во избежание образования воздушных мешков проводникам — стержневым или кабельным — придают по преимуществу прямоугольное сечение, при чем по возможности следует выбирать обмотки такого типа, при котором проводники укладываются в борозде один над другим, занимая всю ширину борозды (фиг. 216).

Завод Гефели поставил себе задачей полностью устранить воздушные прослойки и окружить проводники изолирующей оболочкой, которая возможно точнее припасовывается к форме борозды. Эта оболочка образует одно целое с телом данной обмоточной секции. Наружная обвертка провода изготовляется из специального изолирующего материала, который называется «листовой микартой» (micarta-folium), фабрикация коей заключается в следующем: берется бумага из очень тонких волокон, толщиной не более 0,04 *мм*, на которую наклеиваются специальным лаком тончайшие листики слюды толщиной приблизительно около 0,08 *мм*. Эти листы поступают в продажу рулонами шириной в 1 *м* и длиной от 100 до 500 *м*. Самый способ их изготовления рассчитан так, что он позволяет различить и удалить случайные примеси.




Фиг. 231. Машина Гефели (Haefly) для изоляции катушек.

Способ нанесения изоляции на проводники чрезвычайно прост.

Каждый медный проводник прямоугольного сечения покрывается слоем листовой микарты. Затем совокупность проводников одной борозды обматывают бумажной лентой и несколькими слоями ленты той же микарты, витки которой накладываются в нахлестку. Требуется наложить от 7 до 8 слоев, чтобы образовать изолирующий слой толщиной в 1 *мм*.



Фиг. 232. Станок Гефели.

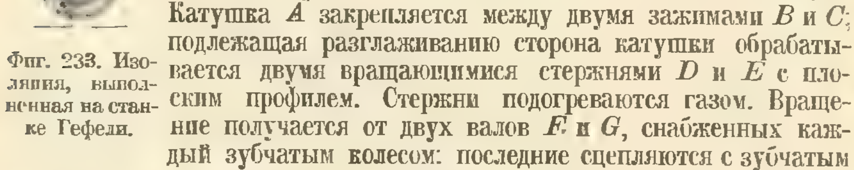
Указанная оболочка покрывает часть проводника, которая слегка превышает длину борозды.

Изготовленная таким путем секция пропускается через станок (фиг. 231) своеобразной конструкции, где оболочка подвергается разглаживанию и уплотнению при помощи двух вращающихся железных полос, которые подогреваются газом и прижимаются к пропущенной вдоль них секции. При такой обработке, которая продолжается от 10 до 30 мин., в зависимости от длины секции и толщины изоляции, витки микарты, в начале свободные, слипаются, образуя одно сплошное целое.

Затем секция переносится в специальный пресс, зажимные скобы которого имеют точную форму борозды (фиг. 232). Здесь секция охлаждается, после чего проводник вместе с оболочкой сливается в одно компактное целое.

По этому способу удается изолировать секции, имеющие в длину до $2^1/_2$ метров, при чем ничто не мешает в случае надобности увеличить этот предел.

Испытания с катушками, снабженными подобной изоляцией, показали, что в случае проволочной или кабельной обмотки с изоляцией толщиной в 3 *мм* пробивающее напряжение лежит в пределах в 68.000—70.000 вольт; для прямоугольного провода с такой же изоляцией предельное напряжение повышается до 85.000 вольт.

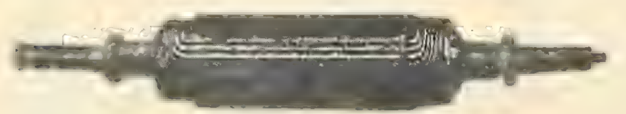


Фиг. 233. Изоляция, выполненная на станке Гефели.

Фиг. 234.

На фиг. 231 представлен станок, предложенный заводом Гефели для изготовления подобной изоляции. Катушка *A* закрепляется между двумя зажимами *B* и *C*; подлежащая разглаживанию сторона катушки обрабатывается двумя вращающимися стержнями *D* и *E* с плоским профилем. Стержни подогреваются газом. Вращение получается от двух валов *F* и *G*, снабженных каждый зубчатым колесом: последние сцепляются с зубчатым ободом, который приводит в движение разглаживающие стержни. Обод направляется патроном *H*.

Если длина стороны изолируемой катушки превосходит 1 *м*, применяются два направляющих патрона для более равномерного распределения нажатия.



Фиг. 235. Ротор турбо-альтернатора 3000 оборотов.

Фиг. 233 дает разрез изолированной по этому способу катушки. Надо заметить, что белые прослойки, показанные на чертеже, чтобы яснее разграничить изоляцию между рядами проводников, в действительности не существуют. Указанная конструкция обладает значительными преимуществами по сравнению с обычной конструкцией фиг. 234. Легко заметить, что в последней в углах изолированных полос существуют слабые пункты, которых нет в вышеприведенной конструкции.



Фиг. 236. Ротор турбо-альтернатора в 2000 киловатт 3000 оборотов в минуту.

**Ротор.** Фиг. 235 представляет пример обмотки двухполюсного якоря турбо-генератора без выступающих полюсов. Обмотка обыкновенно состоит из медных стержней, изолированных слюдой.



Фиг. 237. Асинхронный однофазный мотор 840 оборотов в минуту, 42 пер.



Фиг. 238. Ротор в виде беличьего колеса и для контактных колец.

Обмотка загоняется под большим давлением в пазы и закрепляется клиньями, составленными наполовину из стали и наполовину из тянутой латуни. Таким путем доводят до минимума токи высшего порядка в зубцах, и вместе с тем создается успокоительная цепь, которая предохраняет обмотку ротора от опасных перенапряжений, которые могут возникнуть под влиянием коротких замыканий.



Фиг. 239. Сегмент якоря альтернатора в периоде сборки.

Головки обмоток защищаются колпаками из кованой никкелевой стали — металла, обладающего слабыми магнитными свойствами, и способного противостоять значительным механическим усилиям, вызываемым центробежной силой.

Контактные кольца, которыми оканчивается обмотка якоря, изготовляются из стали и насаживаются в горячем состоянии на вал, от которого изолируются толстыми слюдяными прокладками. По обеим сторонам ротора насажены вентиляторные крылья.



Фиг. 240.



Фиг. 241. Якорь трехфазного альтернатора для больших угловых скоростей.



Фиг. 242. Якорь трехфазного альтернатора 1000 киловат, 5500 вольт, 75 оборотов в минуту.

## ГЛАВА VII.

# Проверка обмотки и нахождение места повреждения.

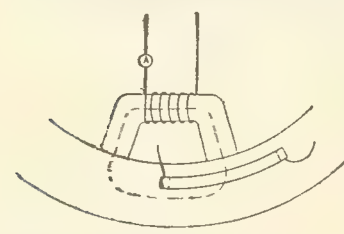
**Проверка обмотки.** Рассмотрению подлежат два случая:

1) обмотки изготовлены отдельно шаблонным путем,

2) обмотка изготовляется на месте сборки.

Шаблонные обмотки. Перед прокладкой необходимо убедиться, что не существует ни разрывов, ни контактов в витках. Проверка производится так же, как в машинах постоянного тока (см. стр. 50).

По окончании сборки производятся следующие испытания:



Фиг. 243. Трансформатор для испытания катушек.

a) Снова проверяют, нет ли разрыва или контакта между витками каждой катушки.

Для этой цели служит трансформатор, представленный на фиг. 243, у которого коротко замкнутая катушка играет роль вторичной обмотки, сигнальный же ток появляется в первичной обмотке, как только такое короткое замыкание произойдет. Кроме того катушка при этом быстро нагревается.

b) Производится проверка диэлектрической прочности между фазами и корпусом.

Применяемое для этой цели переменное напряжение постепенно доводится до максимального значения. Что касается величины этого напряжения и продолжительности его действия, то это зависит от назначения данной машины.

Приводимые ниже цифры соответствуют нормам для испытания материалов, принятым Союзом французских электротехников и Союзом электротехнических синдикатов.

**Диэлектрическая прочность (§ 59 норм).** Испытание на диэлектрическую прочность изоляции производится в сборочной мастерской, преимущественно немедленно после пробы на нагревание, чтобы машина находилась при температуре, близкой к условиям ее нормальной работы. Испытание заключается в применении напряжений, указанных в следующем параграфе.

Пробное напряжение должно быть переменное, с числом периодов от 20 до 100, синусоидального характера. Напряжение прилагается между каждой цепью в отдельности и совокупностью прочих цепей и корпусом машины, соединенным с землей.

Напряжение должно возрастать постепенно.

**Величина пробного напряжения и продолжительность испытания (§ 60 норм).** Величины напряжений даны в нижеприведенной таблице. Продолжительность испытания 1 минута.

**Таблица величин пробных напряжений при испытании изоляции машин.**

| ТИП МАШИНЫ | Пробное напряжение в вольтах. | Примечание |
|---|---|---|
| 1. Машины мощностью менее 1 kw. | $2V$ | $V$ — Рабочее напряжение, указанное на щитке. |
| 2. Машины мощностью выше 1 kw, все приборы и части приборов, за исключением указанных ниже. | $2V+1000$ | Тоже. |
| 3. Цепи для напряжений выше 1000 вольт. | $2V+1000$ | Тоже. |
| 4. Вторичные цепи индукционных моторов, не построенных для постоянного короткого замыкания | $2V_1+1000$ | $V_1$ — напряжение открытой цепи. |
| 5. Цепи возбуждения альтернаторов и синхронных моторов. | $10V_2$ | $V_2$ — максимальное напряжение возбуждения. |
| 6. Трансформаторы для сетей общего пользования: | | |
| a) сторона высокого напряжения. | $2,5V_1+1000$ (минимум 10000 вол.) | |
| b) сторона низкого напряжения. | $2,5V_2+$ (минимум 1000 вол.) | $V_1$ и $V_2$ — рабочие напряжения, указанные на щитке. |

Примечания. 1) Если цепь возбуждения альтернатора содержит выключатель, то должно быть предусмотрено значительно более высокое пробное напряжение.

Возбудитель и реостат возбуждения испытываются на напряжение, соответствующее обмотке возбуждения, которую они обслуживают.

2) Пробное напряжение обмотки якоря асинхронного мотора рассчитывается по наиболее высокому напряжению, измеряемому между кольцами при открытой цепи.

3) Пусковые реостаты асинхронных моторов, как в общем и прочие принадлежности машин, испытываются тем же напряжением, как и цепи, с которыми они связаны.

**Нахождение повреждений альтернаторов в работе.** Повреждения, которые могут иметь место в машинах во время работы, обусловливаются разрывом изоляции:

a) между витками одной и той же катушки,

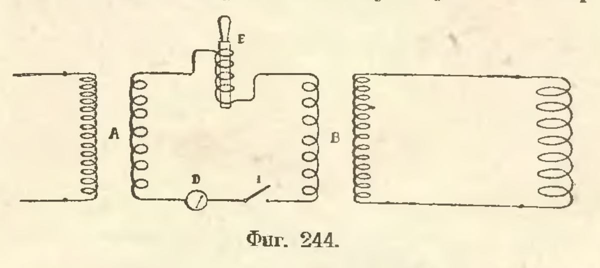
b) между катушками различных фаз,

c) между катушками и корпусом машины.

Во всех этих случаях обмотка вблизи мест короткого замыкания обугливается.

Чтобы выделить поврежденную катушку, достаточно приложить к концам катушки напряжение, постепенно возрастающее до той величины, которую она должна согласно нормам выдерживать. Если это испытание не дает отрицательных результатов, то же напряжение прилагают между катушками различных фаз или между катушками и корпусом. Для получения непрерывно возрастающей разности напряжений можно воспользоваться прибором, схематически представленным на фиг. 244.

$A$ и $B$ — два одинаковых трансформатора напряжения, $E$ — регулируемая катушка самоиндукции, $D$ — амперметр в несколько ампер.



Фиг. 244.

Трансформаторы $A$ и $B$ позволяют обходиться низким напряжением в регулирующей цепи. Цепь низкого напряжения должна быть защищена плавкими предохранителями.

Отыскивание повреждений в обмотках асинхронных моторов.

1) Разрыв в одной фазе статора. Если мотор однофазный, то в случае разрыва в обмотке он не тронется с места даже при отсутствии нагрузки. В случае двух-или трехфазного мотора трогание с места не произойдет без внешнего усилия; если нагрузка будет сколько-нибудь значительна,—мотор вскоре остановится.

При слабой же нагрузке, пущенный раз в ход он сможет продолжать работать, как однофазный мотор. Первичная сила тока увеличится, при чем мотор начинает характерно гудеть. При чрезмерном увеличении нагрузки мотор мгновенно останавливается. Подобные повреждения чаще всего обусловливаются плохой пайкой. Амперметр, включенный последовательно во все фазы, позволит обнаружить поврежденную фазу.

Продолжая проверку дальше при помощи лампы или звонка, можно быстро найти место повреждения.

2) Короткое замыкание в катушке или контакт между катушками. Токи, наведенные в короткозамкнутых витках, быстро вызовут нагревание поврежденных катушек, что сейчас даст себя знать запахом горелого шеллака. Поверхностный осмотр позволит определить и выделить подлежащую ремонту катушку.

3) Сообщение с корпусом статора. Для того, чтобы в результате такого сообщения получилось короткое замыкание, необходимо, чтобы как корпус машины, так и какая-либо другая точка сети, напр., нейтральная точка, был в соединении с землей. Чтобы найти катушку, находящуюся в соединении с землей, можно воспользоваться следующим приемом:

Берут подходящий вольтметр, одну из клемм которого соединяют с корпусом машины. К концу провода, идущего от другой клеммы вольтметра, присоединяют

лрочную иглу, которой последовательно тычут в различные катушки статора. Когда игла коснется катушки, имеющей соединение со статором, вольтметр покажет нуль.

Указанное испытание предполагает, что статор находится под током. Если соединение со статором уже дало короткое замыкание, приходится прежде, чем приступить к проверке, изолировать корпус мотора, после чего производят указанное выше испытание. Рекомендуется также изолировать часть иглы, чтобы самому не быть под напряжением.

4) Разрыв одной фазы ротора. Если мотор работает вхолостую или слабо нагруженный, то увеличивается скольжение: при увеличении нагрузки скорость мгновенно спадает и при половинной скорости мотор снова получает спокойный ход. Но если в этот момент разгрузить мотор, он не примет скорости, близкой к синхронизму.

Спокойный ход при половинной скорости находит себе следующее объяснение:
Назовем:
$\Omega$ — число периодов тока статора,
$2p$ — число полюсов,
$g$ — скольжение.

Угловая скорость вращающегося поля статора равна $\frac{\Omega}{p}$. Обозначая через $\frac{\omega}{p}$ угловую скорость ротора, мы получим для скольжения ротора следующее выражение:

$$g = \frac{\Omega - \omega}{\Omega} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Если вследствие разрыва одной фазы ротор становится однофазным, в нем индуцируется переменный ток, который в свою очередь создает вращающееся поле, с числом перемен $\Omega - \omega$, которое разлагается в свою очередь на два поля, вращающихся по отношению к ротору соответственно со скоростями:

$$+g\frac{\Omega - \omega}{p} \text{ и } -g\frac{\Omega - \omega}{p} \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

На основании равенства (1) мы имеем $\Omega - \omega = g\Omega$ . . . . . . . . . (1)
Отсюда выражение (2) может быть представлено в виде:

$$+g\frac{\Omega}{p} \text{ и } -g\frac{\Omega}{p}.$$

Так как ротор сам вращается со скоростью $\frac{\omega}{p}$, то абсолютная скорость обоих полей будет:

$$\frac{\omega}{p} + g\frac{\Omega}{p} = \frac{\Omega}{p}; \quad \frac{\omega}{p} - g\frac{\Omega}{p} = (1 - 2g)\frac{\Omega}{p};$$

обе эти скорости имеют одинаковый знак до тех пор, пока $2g$ остается меньше 1.

Первое поле ведет себя, как обыкновенное поле реакции якоря, и обезпечивает безостановочность движения, пока доставляемый им момент вращения является достаточным; при синхронизме $g$ делается равным нулю, оба поля получают одинаковую скорость и ход становится спокойным. По мере возникновения скольжения, второе поле создает колебания средней первичной электродвижущей силы, а именно, колебания частоты, равные двойному скольжению, но не представляющие еще особых затруднений.

По мере возрастания нагрузки, мотор быстро сбрасывает скорость и при половинной скорости снова приобретает спокойный ход. Действительно, при $g = 1/2$ или $2g = 1$ абсолютная скорость паразитного поля делается равным нулю. В этот момент это устойчивое поле не производит, как и при синхронизме, никакого действия на статор, и работа мотора становится нормальной.

Если же скорость ротора, вследствие дальнейшего увеличения нагрузки, еще более упадет, величина $2g$ станет больше 1, и возникает добавочное поле, которое вращается по отношению к статору с возрастающей скоростью и которое вызывает в первичной цепи новые колебания: эти последние могут быть легко обнаружены при помощи приборов, показывающих форму кривой тока.

При скоростях, близких к половинной, мотор может еще развить достаточно мощный момент вращения, но одновременно увеличивается нагревание мотора, а, следовательно, понижается его коэф. пол. действия. Вводя в цепь ротора добавочное сопротивление, увеличивают его момент вращения, и мотор может принять нормальную скорость.

Резюмируя сказанное, мы видим, что в индукционном моторе всякое нарушение симметрии в фазах ротора дает начало периодическим пульсациям напряжения у клемм, при чем число колебаний растет вместе со скольжением.

Обратно, констатирование подобных пульсаций тока служит показателем повреждения в роторе.

5) Короткое замыкание в роторе. Такой случай нас может интересовать только в фазовых роторах. Короткое замыкание в них узнается по характерному гудению; кроме того, коротко замкнутые катушки сильно нагреваются, благодаря чему легко обнаружить поврежденную фазу. Если часть ротора коротко замкнута, то при отсутствии внешней нагрузки мотор трогает с места при поднятых щетках — признак характерный для подобного рода повреждений. Очень часто при малых моторах при пуске в ход замечается выступание расплавившегося свинца, что бывает обусловлено соприкосновением проводов, подводящих ток к щеткам через пусковой реостат.

Один из способов проверки хорошего состояния роторов заключается в том, что, подняв щетки, пускают ток в статор и измеряют напряжения между щетками, при чем эти напряжения должны быть одинаковы. Этот способ требует известных предосторожностей, особенно в случае моторов большой мощности, где он даже может быть в известных случаях опасным.

6) Коротко-замкнутые катушки. При изготовлении или ремонте моторов часто случается, что по ошибке два конца какой-нибудь секции, вместо того чтобы быть включенными в фазу, спаиваются между собой. Под влиянием вращающегося поля в ней индуцируются токи иногда весьма значительной силы, в результате чего они быстро перегорают.

Чтобы удостовериться, что ни одна катушка не находится в таких условиях, их включают одну за другой в цепь лампы, один из полюсов которой соединен с питающей сетью; другой полюс, идущий от сети, присоединяется к началу обмотки. Самое включение лампы производится без повреждения изоляции при помощи острия иглы, присоединенной к концам провода, идущего от лампы и не связанного с главной сетью. Иглу последовательно втыкают в головки катушек. При нащупывании катушки, замкнутой на себя и не соединенной с остальными витками данной фазы, лампочка не загорается.

7) Соединение катушек с корпусами ротора. Можно применять тот же метод, который был указан выше для случая соединения с корпусом статора. Для этой цели после подъема щеток пускают ток в статор и при помощи вольтметра и иглы отыскивают ту точку катушки, которая находится под тем же потенциалом, что и корпус.

В случае моторов большой мощности следует, прежде чем приступить к испытанию по этому способу, дать себе отчет о порядке величины напряжения, индуцируемого в роторе при открытой цепи—напряжения, которое может достигнуть значительных, иногда опасных для работы величин; в таких случаях измерения следует производить, приняв соответствующие меры предосторожности в отношении изоляции. Если напряжение между кольцами получается слишком высоким, ротор можно питать меньшим напряжением либо непосредственно, либо включая подходящие сопротивления.

Во избежание в этом случае вращения ротора необходимо убедиться, что обмотка статора отсоединена от линии и не образует замкнутой цепи.

Кроме того, если мотор отделен от всякого привода—ременного или зубчатого, целесообразно принять меры предосторожности, чтобы ротор не мог начать вращаться под действием того особого вращающегося момента, который может возникнуть под влиянием токов Фуко в железе статора.

## Принятые обозначения и сокращения.

| Обозначение | | №№ страниц, где впервые применяются эти сокращения. стр. |
|---|---|---|
| $2p$ | Число полюсов | 19 |
| $2a$ | Число ветвей | 5 |
| $N$ | Общее число проводников | 30 |
| $K$ | Число коллекторных пластин | 5 |
| $R$ | Число пазов | 31 |
| $q$ | Кратность обмотки | 25 |
| $s$ | Общее число витков $s = \frac{N}{2}$ | 5 |
| $S$ | Число секций обмотки $S = K$ | 5 |
| $n$ | Число витков в каждой секции $n = \frac{s}{S} = \frac{N}{2S}$ | 6 |
| $F$ | Число пучков, в которых наводится ток $F = 2S$ | 10 |
| $U$ | Напряжение между щетками | 18 |
| $e$ | Напряжение между пластинами коллектора | 18 |
| $y$ | Результирующий шаг | 13 |
| $y_1$, $y_2$ | Составляющие шаги | 13 |
| $m$ | Смещение в магнитном поле $p$ секций | 16 |
| $Y_k$ | Шаг потенциала на действительном коллекторе | 25 |
| $Y'_k$ | Шаг потенциала, отнесенный к коллектору упрощенной схемы | 26 |
| Разн. пот. | разность потенциалов | 4 |
| Э. дв. с. | электродвигательная сила | 4 |